

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

*Campus de Rio Claro*

**ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE CARTAS GEOTÉCNICAS EM  
DIFERENTES ESCALAS PARA A GESTÃO AMBIENTAL DE  
RODOVIA EM OPERAÇÃO**

José Luís Ridente Júnior

Orientador: Prof. Dr. Leandro Eugenio Silva Cerri

Tese de Doutorado elaborada junto ao  
Programa de Pós-Graduação em Geociências  
Área de Geociências e Meio Ambiente  
para obtenção do título de Doutor em Geociências

Rio Claro (SP)

2008

628.092 Ridente Júnior, José Luís

R544a Análise da utilização de cartas geotécnicas em diferentes  
escalas para a gestão ambiental de rodovia em operação / José Luís

Ridente Júnior. – Rio Claro : [s.n.], 2008

182 f. : il., figs., gráfs., form., tabs., quadros, mapas

Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista,  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Orientador: Leandro Eugenio Silva Cerri

1. Engenharia ambiental. 2. Carta geotécnica. 3. Erosão. 4. Rodovia.  
I. Título.

Comissão Examinadora

Leandro Eugenio Silva Cerri

Pedro Umberto Romanini

Amarilis Lucia Casteli Figueiredo Gallardo

Oswaldo Augusto Filho

José Eduardo Zaine

---

Aluno José Luís Ridente Júnior

Rio Claro, 17 de outubro de 2008

Resultado: “aprovado” “com louvor”

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao meu amigo e orientador, o **PROFESSOR** Leandro Eugenio Silva Cerri, pelos ensinamentos, apoio e sugestões.

Em nome do amigo Geólogo Francisco Nogueira de Jorge, agradeço a todos os colegas do Programa de Recuperação de Rodovias do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo e Banco Interamericano de Desenvolvimento – PRR DER/SP – BID, pelo incentivo e disponibilidade no início dos estudos.

À empresa PRIME Engenharia e Comércio Ltda. e todos os colegas de trabalho, eu agradeço em nome do amigo Engenheiro Carlos Henrique Aranha, pela disponibilidade e apoio ao desenvolvimento e conclusão desta pesquisa.

Agradeço à DERSA e a todos os colegas da gestão ambiental da obra de implantação do trecho sul do Rodoanel Mário Covas, em nome do amigo Administrador José Fernando Bruno, pela disponibilidade e apoio na conclusão dos trabalhos.

Àqueles que participaram no desenvolvimento da pesquisa elaborando tabelas, quadros, figuras e mapas, e correções, agradeço: Nivaldo Paulon, Luis Celso Coutinho, Ana Carolina Benites, Mariana A. de Cillo, Aderbal Carneiro, Jansen Furuta, Marina Izar e Luis Fernando do Rego. Ao amigo Ivan Maglio por disponibilizar o espaço de trabalho.

Agradeço a todos os órgãos rodoviários e outros órgãos de empreendimentos lineares que participaram desta pesquisa por meio das entrevistas e também, a todos os colegas técnicos especialistas de empresas de consultoria que responderam aos questionários.

Quero agradecer também, à colega e amiga Ecóloga Francely Fernandes pela participação, discussão e elaboração conjunta de boa parte da coleta de dados e dos estudos.

Agradeço a todas as pessoas que no passado cruzaram o meu caminho colaborando na minha formação pessoal e profissional, e cujos resultados de alguma forma estão aqui.

Agradeço aos meus pais, José Luiz Ridente e Plácida Maria Rosa Ridente pelo carinho, educação, ensinamentos e apoio que me deram para que eu pudesse chegar até aqui.

Por fim, quero agradecer à minha família. Em especial à minha esposa Fabiana Alves Cagnon pelo carinho, paciência, apoio e incentivo na realização desta pesquisa e também, por no meio do caminho ter me dado as minhas inspirações, meus filhos Miguel Cagnon Ridente e Stella que vem por aí.

Dedico

À minha esposa Fabiana, aos meus filhos Miguel e Stella (que vem chegando)  
e aos meus pais José Luiz e Plácida.

*“Adoramos a perfeição, porque a não podemos ter;  
repugna-la-íamos, se a tivéssemos.  
O perfeito é o desumano, porque o humano é imperfeito.”*

(Fernando Pessoa – Livro do Desassossego)

## RESUMO

As rodovias são empreendimentos de grande extensão e de estreita faixa de terreno que promovem uma profunda alteração nas condições ambientais. Estas intervenções atravessam terrenos com diferentes características (geologia, geomorfologia, solos, florestas, etc.), onde ocorrem processos de erosão de diferentes naturezas e intensidades. Durante a sua implantação e operação, uma rodovia pode gerar uma série de impactos ambientais.

O objetivo desta pesquisa é analisar se é possível desenvolver instrumentos de gestão ambiental, por meio do estudo do meio físico, apresentado pela cartografia geotécnica em diferentes escalas, além de outros estudos dirigidos.

As atividades de pesquisa foram desenvolvidas em trecho da Rodovia Marechal Rondon (SP 300), entre os municípios de Anhembi e Botucatu, no estado de São Paulo. Os estudos, utilizando o método do detalhamento progressivo, partiram da análise de mapas e cartas em escala regional (escala 1:1.000.000 e 1:500.000) e foram complementados pela elaboração de cartas geotécnicas nas escalas 1:50.000 e 1:10.000; esta última apenas para um segmento da rodovia, e por outros levantamentos específicos. Este trecho da rodovia atravessa diferentes compartimentos geomorfológicos, quais sejam: Depressão Periférica, Cuesta Basáltica (Serra de Botucatu) e Reverso da Cuesta.

Paralelamente, desenvolveu-se uma análise sobre os Sistemas de Gestão Ambiental – SGA em organizações empreendedoras. Esta tarefa incluiu entrevistas semi-estruturadas com os responsáveis pelas áreas ambientais, bem como consultas a técnicos especialistas em meio ambiente de rodovias, utilizando-se de questionário.

Como resultados da pesquisa, foram desenvolvidos os seguintes instrumentos que compõem um SGA: Caracterização de Impacto Ambiental, Auditoria Ambiental, Recuperação de Áreas Degradadas e Monitoramento Ambiental.

**Palavras chave:** Cartas geotécnicas, gestão ambiental, rodovia, erosão

## ABSTRACT

Roads structures covering a very long narrow strip of land that bring about significant alterations in naturally occurring environmental conditions. Such human interventions cross terrains with a variety of natural characteristics (geological, geomorphologic, soil, forests, etc.) where erosion processes of different nature and intensity occur in the physical environment. During its operational phase, the project may give rise to a series of environmental impacts.

This study has been performed with the objective of evaluate that by means of an analysis of the physical environment, through the development of geotechnical maps in different scales, besides other studies conducted it is possible to develop environmental management instruments.

The activities of this research were developed in case study of the “Rodovia Marechal Rondon” (SP 300 between the cities of Anhembi and Botucatu, in the state of São Paulo). These studies were based on maps in regional scales (1:1.000.000 and 1:500.000), using the progressive detailed method. They were complemented by the elaboration of geotechnical maps in scales 1:50.000 and 1:10.000; the last one was used for just one segment of the road, and for other specific surveys. This segment of the road crosses different geomorphologic compartments such as: Depressão Periférica, Cuesta Basáltica (Botucatu Mountains), and Reverso da cuesta.

In parallel, a detailed analysis of the Environmental Management Systems – EMS was implemented by the developers responsible for such roads projects. This task includes interviews with those responsible for environmental areas, as well as consultations with specialists in environment aspects associated with such linear infrastructure projects, by means of questionnaires.

As a result of this research, the following instruments to compose a EMS were developed: Characterization of the Environmental Impact, Environmental Audit, Recovering of the Degraded Areas, and Environmental Monitoring.

**Key words:** Geotechnical maps, environmental management, road, erosion



## SUMÁRIO

	Página
<b>RESUMO.....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>ii</b>
<b>LISTA DE QUADROS.....</b>	<b>vi</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>vi</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>vii</b>
<b>LISTA DE GRÁFICOS .....</b>	<b>viii</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS.....</b>	<b>ix</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 Importância do Tema.....	6
1.2 Objetivo .....	10
1.3 Premissas .....	11
1.4 Hipótese .....	12
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>13</b>
2.1 História da Cartografia Geotécnica .....	13
2.1.1 Classificação das cartas geotécnicas.....	15
2.1.2 Métodos de elaboração de cartas geotécnicas .....	19
2.1.3 Aplicação de cartas geotécnicas em gestão territorial .....	24
2.1.4 Cartas geotécnicas direcionadas à erosão.....	27
2.1.5 Cartas geotécnicas aplicadas a empreendimentos .....	28
2.1.6 Cartas geotécnicas aplicadas a rodovias e obras lineares .....	30
2.2 Sistema de Gestão Ambiental.....	32
2.2.1 Avaliação de impacto ambiental – AIA .....	36
2.2.2 Auditoria ambiental .....	39
2.2.3 Recuperação de áreas degradadas.....	41
2.2.4 Monitoramento ambiental .....	42
2.2.5 Desempenho ambiental .....	45
<b>3 MÉTODO.....</b>	<b>50</b>
3.1 Etapas da Pesquisa.....	52
3.1.1 Primeira etapa – Formulação do problema.....	54
3.1.1.1 Pesquisa bibliográfica.....	54
3.1.1.2 Definição da área de estudo.....	54
3.1.1.3 Visita aos órgãos rodoviários .....	54
3.1.2 Segunda etapa – Planejamento da pesquisa.....	55
3.1.2.1 Análise de cartas geotécnicas na escala regional.....	55
3.1.2.2 Pesquisa sobre os Sistemas de Gestão Ambiental – SGAs nos órgãos rodoviários... .....	57
3.1.3 Terceira etapa – Estudos de semi-detalle.....	58
3.1.3.1 Elaboração da carta geotécnica de semi-detalle .....	59
3.1.3.2 Sistemas de gestão ambiental – entrevistas e questionários .....	62
3.1.4 Quarta etapa – Estudos de detalhe .....	67
3.1.4.1 Elaboração da carta geotécnica de detalhe .....	67
3.1.4.2 Gestão ambiental – Realização da auditoria ambiental .....	68
3.1.5 Quinta etapa – Conclusão da pesquisa .....	75

<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>76</b>
4.1 Gestão Ambiental de Rodovias .....	76
4.1.1 Entrevistas semi-estruturadas nos órgãos rodoviários.....	77
4.1.2 Questionário para técnicos especialistas em meio ambiente rodoviário .....	83
4.1.3 Análise dos resultados sobre a pesquisa de gestão ambiental em rodovias.....	89
4.2 Estudos Geológico-Geotécnicos Regionais.....	91
4.2.1 Análise dos resultados sobre os levantamentos regionais .....	98
4.3 Estudos Geológico-Geotécnicos de Semi-detulhe na escala 1:50.000 .....	99
4.3.1 Fotointerpretação para os estudos de semi-detulhe .....	99
4.3.2 Declividade dos terrenos para a carta geotécnica na escala 1:50.000 .....	103
4.3.3 Perfis de alteração típicos das unidades dos terrenos na análise de semi-detulhe.....	103
4.3.4 Unidades de terreno .....	108
4.3.5 Caracterização do impacto ambiental dos processos erosivos .....	112
4.3.6 Análise dos resultados da etapa de semi-detulhe.....	120
4.4 Estudos de Detulhe .....	122
4.4.1 Fotointerpretação para os estudos de detulhe .....	122
4.4.2 Estudos cartográficos para a escala de detulhe.....	124
4.4.3 Perfil e unidade do terreno na escala de detulhe.....	126
4.4.4 Caracterização do impacto ambiental - Unidade IV – Vertentes em arenitos.....	127
4.4.5 Auditoria ambiental .....	129
4.4.6 Recuperação de áreas degradadas.....	133
4.4.7 Monitoramento Ambiental .....	135
4.4.7.1 Método de realização do monitoramento ambiental .....	136
4.4.7.2 Periodicidade do monitoramento ambiental.....	137
4.4.7.3 Hierarquia do monitoramento das áreas – objeto.....	138
4.4.7.4 Procedimentos a serem observados durante o monitoramento ambiental.....	138
4.4.7.5 Restrições do método de monitoramento .....	139
4.4.7.6 Instrumentos para a análise de desempenho ambiental.....	140
4.4.8 Análise dos resultados da etapa de detulhe.....	146
4.5 Diretrizes para os Estudos do Meio Físico Direcionados à Gestão Ambiental de Rodovias em Operação .....	149
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>151</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>157</b>
<b>APÊNDICE 1 - Roteiro para a entrevista semi-estruturada com os responsáveis das áreas ambientais dos órgãos rodoviários e resultados .....</b>	<b>173</b>
<b>APÊNDICE 2 - Questionário para técnicos de empresas de consultoria em meio ambiente rodoviário e resultados .....</b>	<b>174</b>
<b>APÊNDICE 3 - Carta de feições de erosão e passivos ambientais na escala 1:50.000, fichas de cadastro de passivos ambientais, e cálculo de investimentos .....</b>	<b>175</b>
<b>APÊNDICE 4 - Carta de declividade do terreno na escala 1:50.000 .....</b>	<b>176</b>
<b>APÊNDICE 5 - Carta Geotécnica na escala 1:50.000.....</b>	<b>177</b>
<b>APÊNDICE 6 - Carta de Áreas de Preservação Permanente na escala 1:10.000 .....</b>	<b>178</b>
<b>APÊNDICE 7 - Carta de declividade do terreno na escala 1:10.000 .....</b>	<b>179</b>
<b>APÊNDICE 8 - Carta Geotécnica na escala 1:10.000.....</b>	<b>180</b>
<b>APÊNDICE 9 - Resultados da auditoria ambiental do sistema de drenagem.....</b>	<b>181</b>
<b>APÊNDICE 10 – Fluxograma das diretrizes para o estudo do meio físico com vistas ao desenvolvimento de instrumentos de um sistema de gestão ambiental de rodovias em operação.....</b>	<b>182</b>

## LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Tipos de documentos e recomendações de elaboração.....	18
Quadro 2.2 – Fases de utilização dos instrumentos de gestão ambiental.....	35
Quadro 3.1 – Método das hipóteses progressivas proposto por Santos (1994).....	51
Quadro 4.1 – Características regionais do meio físico do trecho da rodovia.....	93
Quadro 4.2 – Índices de concentração de feições de erosão por área das unidades (km <sup>2</sup> ) e por extensão da rodovia (km).....	102
Quadro 4.3 – Síntese da Caracterização de Impacto Ambiental – CIA com base nos estudos de semi-detalle.....	113
Quadro 4.4 – Índices de concentração de feições de erosão por área das unidades (km <sup>2</sup> ) na escala 1:10.000 e por extensão da rodovia (km).....	124
Quadro 4.5 – Síntese da Caracterização de Impacto Ambiental – CIA com base nos estudos de detalhe.....	129
Quadro 4.6 – Resultado financeiro da auditoria ambiental do sistema de drenagem.....	131
Quadro 4.7- Análise financeira dos passivos ambientais cadastrados na área de estudo.....	135

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1- Relação Benefício/Custo das Investigações Geotécnicas .....	23
---	----

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Mapa de localização da área de estudo .....	5
Figura 2.1 – Fluxograma da metodologia desenvolvida e aplicada pelo IPT.....	22
Figura 2.2 - Sequência dos trabalhos do método do detalhamento progressivo, mostrando as etapas descritas e os trabalhos realizados em cada etapa.....	25
Figura 3.1 - Fluxograma do método da pesquisa.....	53
Figura 4.1 – Mapa Geológico do Estado de São Paulo.....	94
Figura 4.2 – Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo.....	95
Figura 4.3 – Mapa Pedológico do Estado de São Paulo.....	96
Figura 4.4 – Carta Geotécnica do Estado de São Paulo.....	97
Figura 4.5 – Exemplo de interpretação das unidades homogêneas e feições de erosão nas fotografias aéreas.....	99
Figura 4.6 – Exemplo de interpretação das feições de erosão (em azul) nas fotografias aéreas.....	101
Figura 4.7 – Perfil de alteração típico das várzeas e fundos de vale.....	104
Figura 4.8 – Perfil de alteração típico das escarpas da Serra de Botucatu.....	105
Figura 4.9 – Perfil de alteração típico das escarpas internas dos arenitos.....	106
Figura 4.10 – Perfil de alteração típico dos topos de colinas dos arenitos.....	107
Figura 4.11 – Perfil de alteração típico dos arenitos no reverso da cuesta.....	108
Figura 4.12 – Perfil típico da Unidade de Vertentes dos Arenitos.....	127

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1 – Respostas sobre a existência de um SGA no órgão rodoviário.....	79
Gráfico 4.2 – Respostas sobre o fundamento do SGA para rodovias.....	79
Gráfico 4.3 – Respostas sobre as fases do empreendimento em que o SGA está implementado .....	80
Gráfico 4.4 – Respostas sobre o sistema de gestão se é particular de cada rodovia ou geral...	80
Gráfico 4.5 – Respostas sobre as ações preventivas do SGA.....	81
Gráfico 4.6 – Respostas sobre os métodos de coleta de dados.....	81
Gráfico 4.7 – Respostas sobre a existência de banco de dados sobre passivos ambientais e erosão.....	82
Gráfico 4.8 – Respostas sobre a erosão como indicador ambiental, quantitativo ou qualitativo.....	84
Gráfico 4.9 – Respostas sobre como analisar quantitativamente a erosão.....	85
Gráfico 4.10 – Resposta sobre outros indicadores de qualidade ambiental, além da erosão....	86
Gráfico 4.11 – Respostas sobre quais os parâmetros que podem ser utilizados para definir importância entre os indicadores de qualidade ambiental.....	86
Gráfico 4.12 – Respostas sobre os recursos para a realização do monitoramento ambiental...	87
Gráfico 4.13 – Como garantir a qualidade ambiental de uma rodovia.....	88

## LISTA DE ABREVIATURAS

- ABDER - Associação Brasileira dos Departamentos de Estradas de Rodagem
- ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
- ARTESP – Agência Reguladora dos Transportes do Estado de São Paulo
- BID – Banco Interamericano de Desenvolvimento
- BIRD - Banco Internacional de Reconstrução e Desenvolvimento - Banco Mundial
- CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente
- CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
- DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica
- DEINFRA – Departamento de Infra-estrutura do Estado de Santa Catarina
- DER – Departamento de Estradas de Rodagem
- DERSA – Desenvolvimento Rodoviário S.A.
- DNER- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
- DNIT – Departamento Nacional de Infra-estrutura e Transporte
- IAEG – *International Association of Enginnering Geology and Environmental*
- IG – Instituto Geológico do Estado de São Paulo
- IGC – Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo
- IGCE – Instituto de Geociências e Ciências Exatas
- IPT- Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
- ISO – *International Association for Standartization*
- IUGS – *International Union of Geological Sciences*
- MMA- Ministério do Meio Ambiente e da Amazônia Legal
- NBR – Norma Brasileira Registrada
- SMA – Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo
- UNESP – Universidade Estadual Paulista
- USP – Universidade de São Paulo

## 1 INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento da sociedade moderna e “organizada”, a necessidade de se locomover de forma coletiva e ágil para locais remotos levou à construção dos primeiros caminhos que ligavam as tribos ou povoados entre si, ao mar, aos rios, etc. A organização em comunidades exigiu a intensificação na criação de vias de acesso entre os locais mais distantes, principalmente com o advento do comércio.

Na Europa, a rede viária do Império Romano teve o início de sua construção antes do século 4a.c. e, no final do século 1a.c. já haviam sido construídos mais de 100.000km de vias (NARDO, 2000). As vias eram utilizadas para o transporte de pessoas e produtos utilizando-se de animais e charretes. Estas foram as primeiras vias construídas utilizando-se de conceitos e técnicas similares às que hoje ainda são aplicadas, tais como: pavimento, obra de arte, drenagem e até mesmo sinalização. São obras tão importantes e duradouras que muitas delas são ainda parcialmente utilizadas em seu traçado, sendo atualmente objeto de várias pesquisas arqueológicas.

No Brasil, em particular no Estado de São Paulo, a Calçada do Lorena talvez seja a via pavimentada mais antiga, e que ainda encontra-se preservada em alguns de seus trechos. Conhecida como o caminho do mar que ligava a capital paulista ao porto de Santos, no século 18 foi ampliada e pavimentada com blocos de rocha para permitir a passagem de carroças visando à melhoria das condições de exportação. Esta obra possui importância histórica e também técnica, pois foi construída utilizando-se de técnicas inovadoras para a época, como drenagem e estabilização de encostas (TOLEDO, 1981).

As rodovias transformam a paisagem local e regional. São estruturas que durante a operação e mesmo depois do seu encerramento, permanecem ao longo do tempo como

elementos da paisagem. Na maior parte das vezes, após o encerramento da utilização e quando preservados, estes empreendimentos podem se tornar símbolos da história de uma sociedade.

A principal característica das rodovias é a grande extensão que percorrem, e proporcionalmente, a estreita faixa de terreno que ocupam. Atualmente, são empreendimentos que promovem a ligação entre regiões afastadas que necessitam de comunicação, seja pela necessidade de transporte de pessoas, abastecimento ou outros. A implantação de uma rodovia apresenta uma série de impactos sócio-ambientais positivos que não são alvo de discussão desta pesquisa.

A construção de uma rodovia de alguma forma sempre altera as condições ambientais (meios físico, biótico e socioeconômico). As rodovias, devido à sua grande extensão, geralmente atravessam diversos ambientes, formados por diferentes formações geológicas, formas geomorfológicas, tipos de solos, formações florestais, grupos de faunas, ambientes sociais, etc. Também, rios, córregos, lagos, manguezais, talvegues de drenagem, bacias hidrográficas, etc., ou seja, diferentes ambientes são atravessados.

Quando da implantação de uma rodovia, estes ambientes são modificados e sempre sofrem algum tipo de impacto ambiental. São gerados impactos sobre o meio biótico devido a supressão de vegetação, interferência em diferentes habitats, etc. Também, são gerados impactos sobre o meio socioeconômico, de diferentes naturezas, devido a interferência com a população que reside ao redor do empreendimento. Nesta tese serão abordados apenas os impactos ambientais negativos relacionados ao meio físico.

O impacto ambiental no meio físico tem início quando a rodovia é implantada em área onde não existe a ação do homem, ou seja, a primeira intervenção é o desmatamento da faixa de obra (*off set*) e de seus acessos, que gera a exposição do solo, e na seqüência, uma série de outras intervenções são realizadas, tais como: escavação em solos, corte em rochas, aterros, desvio das drenagens naturais, barramento de rios, impermeabilização, construção de obras de arte, fundações, túneis, etc, onde a cada uma delas está associado algum tipo de impacto.

Santos (1994) define que a Geologia de Engenharia é fundamentada em três conceitos básicos: natureza em contínuo movimento, sentido do equilíbrio e a imanência das características físicas dos diferentes materiais.

Em relação ao meio físico, os principais impactos ambientais negativos relacionados à implantação e operação de uma rodovia são provenientes da ação de processos superficiais,



tais como: erosão, movimentos gravitacionais de massa, assoreamento, recalques e colapsos; além de impactos relacionados à alteração da qualidade das águas superficiais e subterrâneas (FOGLIATTI, FILIPPO e GOUDARD, 2004). Os mesmos autores dizem que os maiores impactos decorrentes de um empreendimento rodoviário ocorre durante a sua implantação, porém, os impactos decorrentes da operação tendem a permanecer por um período maior, tornando-se muitas vezes mais significativos.

As transformações no ambiente decorrentes da implantação de uma rodovia são incisivas, no entanto, ao longo do tempo são incorporadas pelo meio, retornando a uma situação de equilíbrio ou não. Segundo Santos 1994 “a natureza está sempre em busca do equilíbrio” e, neste sentido é que após as transformações impostas pela sua construção e operação, as obras rodoviárias permanecem como um novo elemento do meio ambiente ao longo do tempo.

No entanto, a busca do equilíbrio é constante e não possui limite no tempo, fazendo com que os impactos decorrentes destes empreendimentos, relacionados aos processos do meio físico sejam agravados, gerados ou até mesmo estabilizados durante a sua fase de operação. A dinâmica dos processos do meio físico relacionados a um empreendimento rodoviário depende de vários fatores, tais como: ambiente, projeto, método construtivo, manutenção da via e das medidas preventivas e de controle adotadas (FORNASARI FILHO et al. 1992). A estabilização destes processos e a obtenção do desejável equilíbrio serão obtidas por meio de ações planejadas e concretas que possibilitem a elaboração de projetos adequados, implantação de medidas de prevenção, realização de manutenção e monitoramento das áreas.

A situação mais próxima do equilíbrio com relação aos processos do meio físico e conseqüente otimização de condições ambientais pode ser auscultada por meio da implantação de instrumentos de um Sistema de Gestão Ambiental – SGA, que proporcionarão a minimização de impactos ambientais (BITAR & ORTEGA, 1998). Obviamente que tais instrumentos aplicados em todas as fases do empreendimento (concepção, implantação, operação e desativação), baseados em estudos de impacto ambiental, proporcionarão a adoção de programas e medidas que irão minimizar os impactos ambientais do empreendimento como um todo.

No entanto, a maioria das rodovias foram implantadas anteriormente à Resolução CONAMA 237/97<sup>1</sup>, que regulamenta o Sistema de Licenciamento Ambiental de empreendimentos no Brasil e considera conceitos de gestão ambiental, e que define as competências e os tipos de atividades que devem estar submetidas aos processos de licenciamento ambiental.

Segundo a Resolução CONAMA 01/86<sup>2</sup>, anterior à resolução 237/97 e que definia os tipos de empreendimento sujeitos à apresentação de estudo de impacto ambiental, estava apresentado no seu Artigo 2º no item I “Estradas de rodagem com duas ou mais faixas de rolamento”. Desta forma, isentando-se as rodovias concedidas à iniciativa privada, a maioria das rodovias do país encontra-se “irregular” perante a legislação ambiental.

Visando também, a dar subsídio para a gestão ambiental de rodovias, é proposto neste estudo um método de análise do meio físico, com o objetivo de desenvolver instrumentos para a gestão ambiental. Para tanto, são elaboradas cartas geotécnicas por meio de um método que produz uma série de dados que são subsídios à aplicação e ao desenvolvimento de instrumentos de um SGA. Os instrumentos de um SGA que resultaram destes estudos são: Caracterização do Impacto Ambiental, Auditoria Ambiental Preliminar Informal, Monitoramento Ambiental e Recuperação de Áreas Degradadas.

Como estudo de caso, a pesquisa aborda especificamente o processo de erosão, que é um dos principais responsáveis pela degradação ambiental de empreendimentos rodoviários em operação, e sua relação com o meio físico (geologia, geotecnia, pedologia, geomorfologia). Foi selecionado o trecho rodoviário da SP 300 (Rodovia Marechal Rondon), sob responsabilidade do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo – DER/SP, entre os quilômetros 223 e 257 (ligando os municípios de Anhembi a Botucatu) (Figura 1.1). Este trecho rodoviário compreende uma diversidade de regiões com características ambientais diferenciadas, e cujos processos do meio físico são de diferentes natureza e intensidade, dependendo do ambiente geomorfológico que atravessa: Depressão Periférica, Cuesta Basáltica (Serra de Botucatu), e Reverso da Cuesta (ALMEIDA, 1964).

---

<sup>1</sup> Resolução CONAMA N° 237, de 19 de dezembro de 1997

<sup>2</sup> Resolução CONAMA N° 01, de 23 de janeiro de 1986



**Figura 1.1** – Localização da área de estudo da pesquisa<sup>3</sup>

<sup>3</sup> Fonte: Mapa Rodoviário do Estado de São Paulo na escala 1:1.000.000 (DER/SP – 2007)

Neste capítulo 1, com base na proposta de Andrew & Hildebrand (1982) serão apresentados o tema, o problema pesquisável, o objetivo, as premissas e a hipótese que foram base para o desenvolvimento da pesquisa.

No capítulo 2 é apresentada a fundamentação teórica dos principais conceitos utilizados pela pesquisa, com o objetivo de fundamentar o método e os estudos realizados.

O capítulo 3 apresenta o método da pesquisa por meio da descrição das etapas, dos critérios e dos parâmetros utilizados. Estão descritos os métodos de elaboração das cartas geotécnicas, e da pesquisa realizada sobre os SGAs de organizações que gerenciam empreendimentos rodoviários. Também, estão descritos os métodos de desenvolvimento dos instrumentos do SGA.

Na seqüência, no capítulo 4 são apresentados os resultados das etapas da pesquisa referente aos estudos das cartas geotécnicas, entrevistas e questionários sobre instrumentos de SGAs de empreendimentos rodoviários, e também, o desenvolvimento de instrumentos de um SGA, além de uma proposta de diretriz para o estudo do meio físico para aplicar em gestão ambiental de rodovias em operação. Os resultados de todas as etapas são apresentados e analisados no que se refere às respostas obtidas.

No capítulo 5, são apresentadas as conclusões obtidas por meio da pesquisa realizada e as recomendações para a continuidade dos estudos sobre o tema.

## **1.1 Importância do Tema**

A implantação da infra-estrutura de transporte no Brasil aos moldes do que hoje se apresenta, teve início no final do século XIX e início do século XX. Nesta época, foram construídas as primeiras ferrovias com tecnologia predominantemente inglesa, as primeiras linhas de transmissão por empresas americanas, bem como a construção de rodovias para a utilização de veículos automotores.

Apenas para ilustração da importância e comparação entre os empreendimentos de obras lineares, no Brasil, segundo dados referentes ao ano 2000 do Ministério dos Transportes (GEIPOT, 2006), existiam 1.724.929 km de rodovias implantadas, 29.283 km de ferrovias e 16.084,87 km de dutos.

A importância econômica e social das rodovias é significativa para o país. A distribuição do transporte de carga no Brasil, em toneladas, é realizada 60,49% por rodovias;

20,86% ferrovias; 13,86% por meio aquaviário; 4,86% em dutovias; e 0,33% por via aérea (GEIPOT 2006).

As dutovias são compostas por oleodutos, gasodutos, minerodutos e principalmente por aquedutos. Os principais produtos transportados são: água, petróleo, nafta, gasolina, diesel, querosene, óleo combustível, claros, escuros, LGN, álcool, CO<sup>2</sup>, CO<sup>3</sup>, gás natural e minérios (GEIPOT, 2006). Ainda segundo os dados do Anuário Estatístico de 2001, os minerodutos possuíam no ano 2.000 extensão de 567 km, os gasodutos 6.490,97 km e os oleodutos 9.026,9 km; já os aquedutos são muito mais extensos e de difícil mensuração.

As ferrovias transportam principalmente grãos, minérios e produtos provenientes do petróleo, além de outros produtos e bens manufaturados e, em menor proporção, passageiros. O setor ferroviário no ano 2.000, empregou diretamente 32.717 pessoas, não contando os funcionários das companhias de trens metropolitanos e trabalhadores indiretos.

Segundo Preussler (1998) apud Garibaldi (2004), o sistema rodoviário brasileiro responde pela circulação de 95% do transporte de passageiros. Dos 1.724.929 km de rodovias existentes no ano 2.000, apenas 149.064 eram pavimentadas, ou seja, 8,6% do total, o que mostra a precariedade do sistema. Entre as rodovias pavimentadas, 56.097 km são de rodovias federais (aproximadamente 38%).

Apenas para comparação, Sijing (2005) expõe sobre as obras a serem construídas na China até o ano de 2.020, um país em franco desenvolvimento econômico. O autor destaca a importância dos estudos que estão sendo desenvolvidos para a construção de 100.000 km de ferrovias, 85.000 km de auto-estradas, 8.000 km de dutos para gás.

No Estado de São Paulo, existe cerca de 230.000 km de rodovias (13% das rodovias do país), considerando-se rodovias federais, estaduais e municipais, sendo que, destas, menos de 30.000km são pavimentadas (20% das rodovias pavimentadas do país estão em São Paulo e 13% das rodovias do Estado são pavimentadas) (ROMANINI, 2000a).

Os dados atuais do Ministério dos Transportes (GEIPOT 2006) apontam que 36,1% possuem o pavimento em mau estado de conservação, 36,2% o pavimento está em condições regulares e apenas 27,7% das rodovias encontram uma condição de pavimentação em bom estado de trafegabilidade. A situação de precariedade do sistema se torna mais evidente quando comparamos com a situação de um país de dimensões continentais como a do Brasil, no caso, os Estados Unidos da América, onde a malha rodoviária asfaltada é 27 (vinte e sete) vezes maior que a brasileira e a população é apenas 60% superior (GARIBALDI 2004).

Para a elaboração da 1ª Etapa do Programa de Recuperação de Rodovias do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo - PRR do DER-SP / Banco Interamericano de Desenvolvimento - BID, que se encerrou em dezembro de 2006, foram cadastradas as áreas degradadas relacionadas às rodovias inseridas no Programa. Estas áreas degradadas possuem diferentes naturezas: físico-química, biológica e sócio-econômica, e fazem parte de um conjunto de problemas ambientais existentes nos empreendimentos rodoviários em funcionamento e que foram gerados no passado. O resultado final do levantamento foi que, nas rodovias analisadas, existe uma área degradada a cada 10km de rodovia (DER 2006b).

Dentre as áreas degradadas levantadas e cadastradas, existem vários processos do meio físico. Foram registradas as feições de escorregamentos de encostas e taludes, erosões de diferentes tipos, assoreamento e colapsos (afundamentos); sendo as erosões o tipo de processo mais comum e mais numeroso, com cerca de 60% dos casos.

O histórico da formação da erosão está ligada a diferentes causas relacionadas aos procedimentos de obra, tais como: movimentos de terra pretéritos, sistemas de drenagem inexistentes ou ineficientes, falta de cobertura vegetal em taludes de corte e aterro, antigas áreas de apoio às obras (áreas de empréstimo, bota-foras, mineração), etc.; além de causas naturais, tais como: perfil de alteração dos solos, relevo, clima, pluviometria, etc.

Imagina-se que a situação de degradação ambiental encontrada no Estado de São Paulo é menor que a situação de degradação existente com as rodovias do restante do país. Tal situação deve-se à falta de investimento público na conservação e manutenção de rodovias, atrelada à falta de pesquisas que possam subsidiar os trabalhos de conservação. Para as obras rodoviárias a falta de conservação e manutenção adequada leva a ocorrência de degradação de todos os seus componentes: sinalização, plataforma da rodovia (pavimento das faixas de rolamento e acostamentos), dispositivos de acesso, sistemas de drenagem, etc. O conjunto degradado de uma rodovia coloca em risco a saúde e segurança do usuário, da população que vive nas suas proximidades e o meio ambiente.

Outros tipos de obras lineares, também causam degradação ambiental de diversas formas causadas por processos do meio físico. Os maiores impactos relacionados ao meio físico ocorrem durante a instalação destas obras. O desmatamento, exposição do solo, movimentação de terra, etc. induzem a formação de processos erosivos, assoreamento e escorregamentos em taludes. No entanto, a operação destes empreendimentos também ocasiona os mesmos processos, em razão da ineficiência ou inexistência de sistemas de

drenagem, falta de proteção superficial e inclinações excessivas de taludes (FORNASARI FILHO et al. 1992).

As ferrovias brasileiras são, em geral, muito antigas. Uma situação muito comum que hoje se observa, é a formação de erosões que causam a destruição da plataforma, e por vezes interrompem o funcionamento das mesmas. Os antigos sistemas de drenagem foram dimensionados para uma situação de pouca ocupação nas bacias de drenagem contribuintes e que atravessam as linhas férreas, no entanto, a ocupação avançou, impermeabilizou os terrenos e tornou os sistemas de drenagem obsoletos, com vazão insuficiente, causando erosões.

Santos (2002) descreve outro processo, o empastilhamento, que resulta em erosão superficial nos taludes das ferrovias e queda de material sobre linha férrea causando riscos ao tráfego das máquinas em Taquaritinga (SP). Também, a ocorrência de escorregamentos em taludes associados às ferrovias é muito comum, principalmente nas regiões serranas.

Sobre as linhas de transmissão de energia, Silva (2002) diz que *“a instalação e operação das linhas de transmissão em áreas sensíveis, como as regiões serranas ou pantanosas, sugere alterações no meio físico mais significativas e que se estendam à fase de operação do empreendimento, podendo ser deflagrados ou intensificados diversos tipos de movimentos de massa: rastejos, escorregamentos (incluindo rupturas de solos ”moles”), movimentações de tálus, etc. e processos erosivos mais intensos”*.

A ocorrência de acidentes com linhas de dutos causados por processos do meio físico não é um fato raro, e tem sido divulgado pela grande imprensa. Alguns destes acidentes estão associados a movimentos de massa em regiões serranas e geram o vazamento de produtos perigosos para o solo e recursos hídricos. As organizações empreendedoras estão tomando providências com relação à prevenção de ocorrência de acidentes, e nesse contexto, estão realizando estudos para a prevenção e gerenciamento (GRAMANI et al., 2005).

Voltando às rodovias, a situação precária de gerenciamento e conservação, dentre outras razões que não são objeto de abordagem desta pesquisa, levou a criação no final da década de 90, ao sistema de concessão da rodovia à iniciativa privada, inspirando-se em experiências e modelos internacionais. O modelo consiste na concessão por tempo determinado, para consórcios de empresas privadas que assumem a responsabilidade de conservação, manutenção e implantação de melhorias nas estradas, em troca da exploração de

tarifas de pedágio. Estas concessionárias são controladas por agências estatais reguladoras na federação e nos estados.

A melhoria das condições rodoviárias nos trechos concessionados é perceptível aos usuários, porém a custos elevados de tarifas de pedágio. Dentre vários aspectos, o modelo de concessão exigiu a aplicação, por parte das concessionárias, de sistemas de gestão destas rodovias, que anteriormente eram parcialmente e em casos isolados, adotados pelos órgãos estatais, geralmente motivados por exigências de organizações financiadoras internacionais. Dentre estes modelos de gestão rodoviária insere-se a gestão ambiental e seus instrumentos.

No Estado de São Paulo, as rodovias que irão passar ao regime de concessão são alvo de uma análise ambiental para a solicitação do pedido de Licença de Operação - LO. Com base na análise de três documentos para a solicitação de LO disponibilizados pela Desenvolvimento Rodoviário S.A. - DERSA (DERSA, 2006b; DERSA, 2006c e DERSA, 2006d), verificou-se que estes documentos apresentam como conteúdo apenas o contexto do empreendimento na matriz de transporte da região, um histórico do processo de licenciamento do empreendimento, uma análise dos passivos ambientais da rodovia e um cronograma das ações para a obtenção da LO. Em geral, estes documentos são elaborados por empresas de consultoria contratadas pelos órgãos rodoviários e são submetidos à aprovação dos órgãos ambientais.

Dos documentos analisados pode-se constatar que estes respondem apenas parcialmente aos instrumentos de um SGA, no que se refere principalmente à Auditoria Ambiental Preliminar e ao Cadastro de Passivos Ambientais. Com relação ao instrumento de Monitoramento Ambiental da rodovia nenhum dos documentos analisados abordava o assunto, pois estes não apresentam uma análise sobre a possibilidade de impactos ambientais do empreendimento em questão. Também, nenhum dos documentos apresentava um planejamento de ações que pudessem resultar na melhoria das condições ambientais da rodovia.

## **1.2 Objetivo**

Gil (1996) sugere que a definição do objetivo de uma pesquisa seja realizada a partir da formulação de uma questão que o autor citado denomina de “*problema solucionável*”. A questão formulada será respondida por meio da conclusão das etapas da pesquisa. Para esta pesquisa foi formulada a seguinte questão: “*É possível desenvolver instrumentos de Gestão Ambiental de um empreendimento rodoviário em operação, com base nas informações*



*contidas em cartas geotécnicas*”? Conforme o proposto por Gil op cit., foi possível inverter o questionamento e formular o objetivo desta pesquisa.

Assim, a presente pesquisa tem o objetivo de analisar se o estudo do meio físico com base no conhecimento dos processos de erosão pluvial “acelerada” e de seus condicionantes do meio físico (geológicos, geomorfológicos, geotécnicos e pedológicos) obtidos por meio dos estudos para a análise e/ou elaboração de cartas geotécnicas em diferentes escalas, pode subsidiar o desenvolvimento de instrumentos de gestão ambiental para um empreendimento rodoviário em operação.

### **1.3 Premissas**

Para a elaboração da pesquisa foram definidas algumas premissas que não são objeto do estudo, mas são consideradas verdades já comprovadas por estudos anteriores ou por hipóteses que esta pesquisa irá considerar como comprovadas pela vivência técnico-científica.

Como premissas para esta pesquisa podemos afirmar que:

- A aceleração, a formação e o avanço dos processos de erosão podem ser deflagrados durante a implantação de rodovias ou durante a sua operação, devido à: mudança na drenagem natural, movimentação de terra, impermeabilização do terreno, escoamento concentrado, projetos de drenagem deficientes ou mal executados, etc.; resultando em impactos ambientais;
- Um empreendimento rodoviário causa menos impactos negativos ao meio ambiente quando está baseado em um sistema de gestão. Ou seja, os impactos ambientais serão reduzidos com a realização de intervenções que considerem a desejável investigação preliminar, projeto e planejamento adequado às condições locais (meios físico, biótico e sócio-econômico), execução cuidadosa e responsável e utilizando-se de materiais adequados e de boa qualidade, além de monitoramento e da manutenção periódica;
- A Gestão Ambiental de um empreendimento, mesmo que esta seja adotada tardiamente em relação a sua implantação, proporciona a melhoria de qualidade ambiental desse empreendimento.

#### **1.4 Hipótese**

A elaboração da hipótese traz a proposta de que no final da pesquisa, seja possível a avaliação se a mesma é verdadeira ou falsa (GIL, 1996), ou seja, ela pode ser testada e apresentar a solução dos problemas levantados pelo objetivo da pesquisa.

Admite-se como hipótese para esta pesquisa, que:

- Cartas geotécnicas em diferentes escalas reúnem informações que subsidiam o desenvolvimento de instrumentos de gestão ambiental.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

A pesquisa bibliográfica e o desenvolvimento dos estudos mostraram que a aplicação de cartas geotécnicas em gestão ambiental é ainda incipiente no país e poucos trabalhos foram publicados sobre o assunto.

Como a proposta da pesquisa é demonstrar que a utilização e elaboração de cartas geotécnicas podem aperfeiçoar os instrumentos de gestão ambiental, é apresentado a seguir a fundamentação teórica da pesquisa que foi base para o desenvolvimento do método proposto.

### **2.1 História da Cartografia Geotécnica**

A observação do meio e a sua caracterização para a construção de obras e a ocupação do terreno são bastante antigas. Legget (1973) apud Freitas (2000), cita exemplos de ocupações antigas realizadas com base na observação do meio físico. O mesmo autor descreve também a história da observação do terreno para a construção de obras de engenharia, identificando a publicação dos primeiros livros de Geologia de Engenharia do final do século XIX.

Os primeiros trabalhos de elaboração de cartas geotécnicas foram realizados no início do século passado na Alemanha com o objetivo de orientar a construção de cidades (ZUQUETTE & GANDOLFI, 2004). Posteriormente, segundo Freitas (2000), a elaboração das cartas geotécnicas teve um grande avanço nos países do Leste Europeu, tais como Polônia, Romênia, Tchecoslováquia, Alemanha Oriental, URSS, etc. As cartas elaboradas variavam em escala e método conforme a aplicação a que se destinavam, desde o mapeamento de um país como a Bulgária em 1963 (na escala 1:500.000), até a carta geotécnica da área central de Praga de 1947 (na escala 1:12.000).

No Brasil, os primeiros trabalhos são oriundos da década 70 no século passado, realizados por Coulon para a região de Morretes e Montenegro (RS) e outro realizado pelo IPT sobre os Morros de Santos e São Vicente (SP) (ZUQUETTE & GANDOLFI 2004).

Segundo a IAEG (1976), *“mapa geotécnico é um tipo de mapa geológico que classifica e representa os componentes do ambiente geológico, que são de grande significado para todas as atividades de engenharia, planejamento, construção, exploração e preservação do ambiente”*.

Varnes (1974), diz que *“um mapa geotécnico requer para a sua realização operações físicas de adição, seleção, generalização e transformação das informações especiais relativas à litologia, de estruturas dos solos e rochas, hidrologia, geomorfologia e processos geológicos”*. Para Matula (1976) *“um bom mapa geotécnico é considerado o modelo mais ilustrativo do ambiente geológico servindo às finalidades de engenharia e outras”*.

Os conceitos anteriores são todos corretos e válidos. Porém, considera e complementa-se com a definição, de Prandini, Nakazawa, Freitas e Diniz (1995), de que: *“as cartas geotécnicas expressam, na prática, o conhecimento geológico aplicado ao enfrentamento dos problemas causados pelo uso e ocupação da terra, orientando medidas preventivas e corretivas para minimizar os danos ambientais e os riscos aos próprios empreendimentos”*.

No entanto, o conceito apresentado por Freitas (2000), que discorda em parte do conceito proposto pela IAEG (1976), é o que mais tem relação com a proposta desta pesquisa, e define que *“a carta geotécnica deve ser considerada um produto cartográfico que interpreta e representa características dos terrenos, de acordo com os objetivos previstos para utilização destas informações, nos diferentes campos de atuação da Geologia de Engenharia”*.

Com base nos conceitos apresentados, foi possível definir uma fundamentação conceitual, a partir da qual foi possível ter um referencial para elaboração da carta geotécnica, com premissas e critérios que incorporam o método, embasado em uma coerência teórica.

O conjunto dos conceitos apresentados indica, no geral, que as cartas geotécnicas devem ser desenvolvidas para que o conhecimento geológico e geotécnico seja utilizado de forma adequada ao objetivo a que se dedica (empreendimento, obra, gestão ou outro), e também na solução de problemas existentes (processos do meio físico, instabilidades geotécnicas, outros), ou seja, sempre na aplicação.

Ainda segundo Freitas (2000), a elaboração de uma carta geotécnica no âmbito desses conceitos, utiliza como parâmetros e atributos fundamentais os dados do meio físico (rocha, solo, relevo, água e ar). No entanto, o autor considera que aspectos do meio biológico, social e econômico podem ser incorporados, se estes forem essenciais para a correlação das solicitações do homem em relação ao meio. Para este estudo, o fator de uso e ocupação a ser considerado é a rodovia e sua infra-estrutura.

### **2.1.1 Classificação das cartas geotécnicas**

Uma proposta simplista, porém muito objetiva sobre os tipos de cartas, com base no uso específico que este produto se propõe, é apresentada em Zuquette & Nakazawa (1998) por meio da diferenciação entre cartas geotécnicas aplicadas às obras civis e cartas geotécnicas aplicadas ao planejamento urbano, territorial e ambiental.

Prandini, Nakazawa e Freitas (1991) procuram ordenar os tipos de carta geotécnica, considerando que esse produto cartográfico pode-se apresentar sob diversas conceituações, dependendo do objetivo e alcance do seu conteúdo, da diferença entre a natureza e comportamento dos terrenos em estudo e os diferentes desafios inerentes de sua ocupação. Desta forma, propuseram a seguinte classificação:

- Cartas geotécnicas propriamente ditas, quando expõem as limitações e potencialidades dos terrenos e estabelecem as diretrizes de ocupação ante as diferentes formas de uso;
- Cartas de Risco Geológico tem como base a avaliação de dano à ocupação, ante uma ou mais características ou fenômenos, naturais ou induzidos pelo uso do solo (a própria atividade posta em risco ou atividade assim conflitante);
- Cartas de Suscetibilidade destacam um ou mais fenômenos ou comportamentos indesejáveis, pressupondo, ainda, uma dada forma de uso do solo;
- Cartas de Atributos ou Parâmetros (geológicos, geotécnicos), quando se restringem a apresentar a distribuição geográfica de características de interesses (atributos, parâmetros geotécnicos), a uma ou mais formas de uso e ocupação.

Essa classificação proposta, apesar de uma fundamentação na aplicação, generaliza as definições e estreita a possibilidade de aplicação da cartografia geotécnica em outras áreas do conhecimento que são afins à Geologia de Engenharia, pois restringe o leque de atividades possíveis de serem consideradas.

Para a cartografia geotécnica voltada ao planejamento urbano, Bitar, Cerri e Nakazawa (1992), propõem novas denominações, considerando a classificação semelhante à apresentada anteriormente por Prandini, Nakazawa e Freitas (1991), sendo: Cartas Geotécnicas Dirigidas, Cartas Geotécnicas de Risco Geológico, Cartas Geotécnicas de Suscetibilidade e Cartas Geotécnicas Convencionais.

Com base nas propostas anteriores, Freitas & Almeida (1997) apresentam uma nova classificação com maior preocupação no objetivo de cada carta, considerando sempre a sua aplicação e considerando em sua elaboração parâmetros de outras áreas do conhecimento, tais como o uso e ocupação do solo, tipos de vegetação, etc. Estes autores denominam todos os tipos de cartas propostas como “cartas geotécnicas”.

Foi proposta a classificação de uma gama de cartas geotécnicas, apenas como uma estrutura de referência, que possibilita a definição melhor do escopo próprio de cada carta, de acordo com as diferentes atividades de ocupação do solo, desenvolvendo metodologias específicas mais adequadas. É, portanto, uma classificação aberta que permite, inclusive, a elaboração de produtos compostos por mais de um tipo de carta, dependendo do objetivo a que se propõe. Foram agrupados os tipos de cartas geotécnicas, tendo como base os campos de aplicação da Geologia de Engenharia e os métodos mais comuns de elaboração disponíveis, assim propostas:

- *Cartas Geotécnicas de Suscetibilidade - aquelas que destacam a suscetibilidade do terreno a um ou mais fenômenos, a partir do entendimento dos mecanismos de deflagração dos processos responsáveis pela sua ocorrência, para adotar medidas preventivas ou corretivas de seu desenvolvimento. Recebe a denominação do(s) processo(s) considerado(s) (p. ex., Carta de Suscetibilidade a Erosão, ou, simplesmente, Carta de Erosão);*
- *Cartas Geotécnicas de Risco - quando avaliam os perigos à ocupação, de acordo com fenômenos naturais ou induzidos pelo uso do solo, através da conjugação entre zonas de suscetibilidade a determinados processos e formas de ocupação local;*
- *Cartas Geotécnicas de Parâmetros - aquelas que mostram a distribuição geográfica de parâmetros geológico-geotécnicos, selecionados e interpretados para atividades civis bastante específicas (p. ex., Carta de Fundação, voltada para implantação de loteamentos, construção de edifícios e outras obras), fornecendo ao engenheiro*

*informações relativas aos parâmetros do solo e da rocha (valores referentes às suas propriedades físicas);*

- *Cartas Geotécnicas de Planejamento e Gestão Territorial - aquelas que apresentam elementos do meio físico e dos modos de ocupação do solo, que participem dos dados de percepção e avaliação para o estabelecimento de metas e ações de desenvolvimento do território e para sua implementação e seu monitoramento. Assim, deve oferecer condições de avaliação que dote o planejador de capacidade para intervenções que constituam cenários de desenvolvimento viável; e*
- *Outras (Cartas Geotécnicas de Capacidade do Uso da Terra, Cartas Geotécnicas Aplicadas aos Recursos Minerais, Cartas Hidrogeotécnicas).*

Apesar de considerar uma gama maior de atividades da Geologia de Engenharia, a aplicação em gestão ambiental não é explicitamente incorporada em nenhum dos tipos de cartas geotécnicas apresentadas, mas apenas gestão territorial. No entanto, Freitas e Almeida op. cit. dizem que pode ser incorporado um novo tipo de carta na classificação, com base no método a ser utilizado e ajustado sempre ao objetivo específico da carta. Portanto, a questão passa a ser do método aplicado a cada tipo de carta, e não da concepção comum a todos eles.

Com uma proposta diferenciada, oriundo de uma linha de pensamento diferente das anteriores e proveniente de um amplo estudo de várias metodologias, Zuquette (1987) diz que os mapas e/ou cartas podem ser classificados quanto a diferentes aspectos: conteúdo (mapas fundamentais, cartas derivadas, cartas interpretativas), finalidade (carta de uso geral, carta de uso específico), escala (grandes, intermediárias e pequenas), entre outros. Posteriormente, Zuquette (1993) apresenta um detalhamento da proposta orientada no procedimento global do processo, desde a obtenção dos atributos, até a elaboração de cartas específicas, assim como com relação a regras cartográficas e de conteúdo (qualidade) (Quadro 2.1).

Esta proposta prevê que as diferentes classificações variam em função do método empregado, o que coincide com a proposta de Freitas & Almeida (1997), porém considera de forma secundária a aplicação como fundamento de sua classificação e dá ênfase à linha teórico-conceitual utilizada na elaboração da carta o que a diferencia completamente da proposta anterior.

A generalização dos conceitos e a base apenas no método empregado na sua elaboração dificulta a tentativa de classificação das cartas geradas por esta pesquisa na conceituação apresentada por Zuquette (1993). Se fizéssemos uma tentativa de classificação

do produto aqui produzido poder-se-ia dizer que é uma carta interpretativa, com finalidade de uso em gestão ambiental, elaborada com escalas variadas, o que parece ser bastante vago.

Analisando diferentes métodos de elaboração de cartas geotécnicas, Vedovello (2000), propõe que existem dois tipos principais de cartas geotécnicas, quais sejam: as cartas provenientes de análises integradas de princípios geomórficos e as cartas provenientes da integração de diferentes atributos. A primeira pode ser considerada como produto de um zoneamento geotécnico e a segunda diz respeito à representação do terreno em função de suas características e propriedades geotécnicas.

RECOMENDAÇÕES BÁSICAS	TIPOS DE DOCUMENTOS
Obtenção de atributos e execução de documentos por diferentes métodos.	Fundamentais básicas
Representar informações em único documento de escala pequena.	Fundamentais de síntese
Considerando as variações espaciais pode-se realizar: - Carta de Zoneamento Geotécnico Geral, - Carta de Zoneamento Geotécnico Específico, - Carta bidimensional, - Matriz de cruzamento, - Tridimensional,	Cartas derivadas e interpretativas
Pode-se produzir: - Cartas a partir de documentos anteriores, - Cartas do tipo “hazards”, - Cartas que considerem os elementos da ocupação, - Cartas elaboradas por meio da superposição controlada, árvore lógica e dupla hierarquização,	Analíticos básicos
Cartas a partir das anteriores pertencentes ao meio físico, biótico e sócio econômico.	Prognósticos de Riscos
As cartas devem ser elaboradas considerando os níveis de riscos e limitações das diferentes zonas.	Prognósticos de Riscos e orientação quanto à ocupação dos Riscos
Os documentos em escala de detalhe devem levar em consideração aspectos do meio ambiente, fatores sócio econômico e antrópico.	Documentos diretos para os usuários
Com base nos documentos anteriores devem prever as necessidades futuras.	Cartas e orientações conclusivas

(ZUQUETTE 1993, apud, NAKAZAWA & ZUQUETTE, 1998 modificado)

### Quadro 2.1 – Tipos de documentos e recomendações de elaboração

Na proposta de Vedovello (2000), a classificação do produto a ser gerado, assim como Zuquette (1987), independe do uso futuro, considerando apenas do método que será empregado na sua elaboração. No entanto, o mesmo autor, assim como Freitas & Almeida (1997), propõe que: “A forma de analisar e representar as informações referentes ao mapeamento geotécnico vai depender da finalidade a que se dispõem os mapeamentos”.

Portanto, nesta pesquisa utiliza-se a seguinte proposta de classificação: as cartas geotécnicas devem ser classificadas com base primeiramente nos processos do meio físico em análise, em segundo no seu objetivo final de utilização e, por último, no método de elaboração da carta. Os produtos desta pesquisa são as Cartas Geotécnicas de Suscetibilidade à Erosão



Aplicadas à Gestão Ambiental de Rodovia. Quando elaborada em outras situações, poderia utilizar diferentes métodos devido às particularidades dos ambientes e aos diferentes processos do meio físico atuantes.

### **2.1.2 Métodos de elaboração de cartas geotécnicas**

Tanto no Brasil como no mundo, em geral, as cartas geotécnicas são produtos elaborados como subsídios para a realização de obras de engenharia e planejamento territorial. Os estudos direcionados a obras de engenharia apresentam, principalmente, as características físicas e geomecânicas dos diferentes materiais. Os estudos voltados ao planejamento territorial envolvem análises do terreno e da paisagem utilizando-se de critérios geomórficos para a definição das unidades, porém podem também detalhar as características físicas dos materiais, dependendo do interesse da carta. As cartas geotécnicas foram criadas para a implantação de obras civis e estruturais e outras atividades antrópicas, principalmente em áreas urbanas (ZUQUETTE & GANDOLFI 2004).

A diversidade de objetivos das cartas geotécnicas levou ao desenvolvimento de uma infinidade de métodos de elaboração. Os métodos de coleta de dados para a elaboração das cartas geotécnicas diferem muito dos mapas geológicos. Os mapas geológicos são elaborados por meio de interpretação de dados de sensoriamento remoto (imagens aéreas), métodos diretos de coleta de dados (levantamentos de campo para caracterização litológica, estrutural, entre outros, ou por meio de sondagens), ensaios laboratoriais (microscopia, métodos de datação, e vários outros.) e métodos indiretos (geofísicos), não necessariamente nesta seqüência, podendo sempre retornar à ferramenta (de coleta de dados) da etapa anterior.

As cartas geotécnicas podem ser elaboradas utilizando-se de várias formas de coleta e entrada de dados, e também com dados de diferentes naturezas. No entanto, os dados geológicos e geotécnicos sempre devem ser apresentados para a caracterização do terreno, mesmo que estes não sejam os principais responsáveis pela compartimentação em unidades homogêneas.

Importantes contribuições na tentativa de formalizar uma metodologia padrão podem ser identificadas ao longo da história da cartografia geotécnica, tais como: IAEG (1976), Sanejouand (1972), Grant (1974) com a metodologia PUCE, Chazan (1974) com a metodologia ZERMOS, entre outras.

Os métodos propostos pela IAEG (1976), PUCE – *Patern Units Components Evaluation* (GRANT, 1974) e ZERMOS – Zonas expostas a riscos de movimentos de solo

(CHAZAN, 1974), de forma geral, têm como base a utilização de sistemas de classificação dos terrenos utilizando-se de características geomórficas (VEDOVELLO, 2000). O comum entre estes métodos é a utilização, em diferentes etapas e de diferentes formas, da caracterização dos componentes do terreno. Estes componentes e a relação entre eles são analisadas de diferentes maneiras entre estes métodos, por vezes ainda utilizam-se de outros atributos, o que faz gerar diferentes produtos.

No método proposto por Sanejouand (1972), são realizadas análises isoladas de diversos atributos do meio físico. No processo de elaboração das cartas geotécnicas, vários mapas temáticos são elaborados para a análise de diferentes atributos. Esta análise é realizada individualmente por cada atributo, definindo-se pesos para cada um destes visando a integração dos dados obtidos. Dependendo do tipo de produto desejado, é possível a definição de diferentes importâncias aos atributos. Pode-se gerar uma diversidade de cartas de aptidão de uso e ocupação do terreno em detrimento da possibilidade de diferentes usos futuros. O comportamento geotécnico de cada um dos compartimentos definidos é caracterizado por meio de análises e ensaios.

No Brasil, os principais métodos de elaboração de cartas geotécnicas foram sendo consolidados a partir da década de 80, após a realização dos primeiros trabalhos na década anterior. Zuquette (1987) propõe um método com a linha teórico-conceitual baseada na proposta francesa de Sanejouand (1972). Deste método, obtêm-se cartas que representam unidades do terreno em função de suas características e propriedades geotécnicas (VEDOVELLO 2000). No geral, os produtos deste método apresentam escalas muito grandes e também uma grande quantidade de unidades do terreno, que apesar da precisão e boa qualidade dos dados dificulta a sua aplicação.

O método desenvolvido pelo IPT (PRANDINI et al., 1995; DINIZ, 1998; ZUQUETTE & NAKAZAWA, 1998 e FREITAS, 2000), tem como principal fundamento o processo geológico atuante no terreno. A base teórico-conceitual é proveniente das propostas de metodologia PUCE (GRANT 1974), ZERMOS (CHAZAN 1974) e IAEG (1976), ou seja, análise geomórfica dos terrenos, que segundo Florenzano (2008) são cartas de unidades do relevo. Porém, em alguns trabalhos do IPT, são utilizados alguns aspectos da cartografia de unidades da paisagem. Nos trabalhos que definem as unidades da paisagem pode-se considerar que é utilizado, em parte, o método proposto por Zuquette (1987), como por exemplo a integração de mapas temáticos.

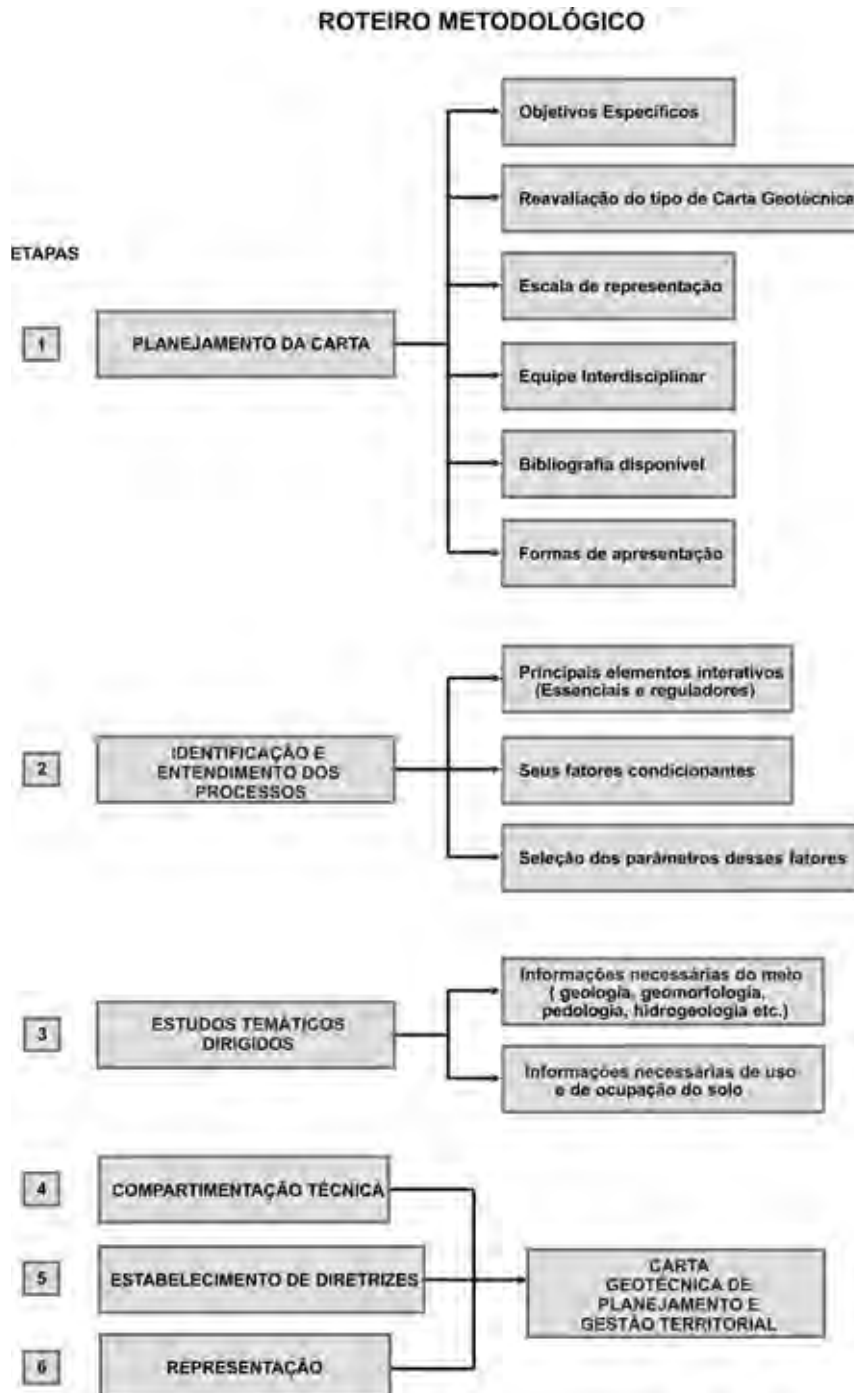
As cartas geotécnicas desenvolvidas pelo IPT têm como fundamento a análise preliminar dos processos geológicos atuantes (Figura 2.1). Posteriormente, é feito um planejamento da carta com base na sua aplicação (PRANDINI et al. 1995, DINIZ 1998, ZUQUETTE & NAKAZAWA 1998 e FREITAS, 2000). Nas cartas do IPT, são considerados os aspectos de uso e ocupação do solo existentes e os problemas relacionados a esta ocupação. Também, são consideradas as expectativas de uso e ocupação do solo futura, realizando-se uma análise das solicitações que esta irá exercer sobre o terreno, apresentando recomendações para a minimização de impactos ambientais e de acidentes geológicos, ou seja, é considerado o objetivo da carta.

São, portanto, produtos voltados ao planejamento e gestão territorial, porém existem trabalhos direcionados a obras e outros usos. A coleta de dados é objetiva e orientada ao problema existente e ao objetivo da ocupação do terreno. As escalas de apresentação são variáveis em detrimento do processo geológico em análise e do uso a que se destina. São produtos dinâmicos que permitem incorporar novos dados do meio físico que permitam o detalhamento da escala e de novas formas de uso do solo.

Também, baseado na linha teórico-conceitual de elaboração de cartas geotécnicas fundamentadas na análise geomórfica dos terrenos, foi desenvolvido o método utilizado pelo Instituto Geológico do Estado de São Paulo – IG-SP. Os trabalhos buscam a individualização de unidades de tipos de terrenos com base em dados geomorfológicos, geológicos, pedológicos e de vegetação (PIRES NETO & YOSHINAGA, 1995; VEDOVELLO, 2000 e BROLLO, 2001). Vedovello (2000), diz que estes “*trabalhos de zoneamento geotécnico possibilitam a elaboração de um produto com representação de uma forma mais simples e objetiva*”. É proposto um método de análise integrada do terreno por meio da interpretação de produtos de sensoriamento remoto e imagens aéreas, com a complementação de informações do meio físico existentes e levantadas em campo de forma conjunta (ROSS, 1995). Os trabalhos são voltados principalmente ao planejamento e gestão territorial e são apresentados principalmente em grandes escalas, mas o método possibilita o detalhamento dos produtos.

Os métodos de compartimentação geralmente utilizam da técnica da avaliação dos terrenos “*terrain evaluation*” (MILES, 1951), também chamada de compartimentação fisiográfica (VERSTAPPEN, 1977). Segundo Florenzano (2008), para o mapeamento geomorfológico este método pode ser definido como levantamento de unidades da paisagem. A avaliação dos terrenos é muito útil para o levantamento das condições do meio físico com vistas à ocupação (LOLLO, 1995). A técnica é oriunda de Herbeson em 1905, que utilizou

das formas do relevo para a descrição regional (GRANT, 1970). Segundo (LOLLO, op cit.) a técnica foi desenvolvida e largamente utilizada, em trabalhos de caráter regional, entre os anos 50 e 60 do século XX.



(FONTE: FREITAS, 2000)

**Figura 2.1** – Fluxograma da metodologia desenvolvida e aplicada pelo IPT

As primeiras aplicações de fotografias aéreas utilizadas para fins de planejamento geotécnico de rodovias por meio da identificação de feições do terreno são de Belcher (1948).

Zuquette & Gandolfi 2004 dizem que “o principal objetivo da técnica da avaliação dos terrenos é permitir melhor entendimento do modelo conceitual de terreno, de tal forma que diminuam os trabalhos de campo, as amostragens e os ensaios laboratoriais e de campo”, o que coincide com os objetivos da pesquisa. Esta técnica prescinde o cruzamento de vários mapas temáticos (geológico, geomorfológico, pedológico) e, portanto, não é necessária a elaboração de mapeamentos em escalas de detalhe, o que proporciona a otimização de tempo e orçamento.

Segundo Vallejo (2002), a relação benefício/custo da utilização de informações preliminares e trabalhos de campo é muito mais alta do que a realização de investigações diretas (Tabela 2.1).

**Tabela 2.1-** Relação Benefício/Custo das Investigações Geotécnicas

<b>Atividade</b>	<b>Custo</b>	<b>Benefício</b>	<b>Relação benefício/custo</b>
Revisão bibliográfica	baixo	muito alto	2,7
Reconhecimento de campo	baixo a médio	muito alto	2,7 a 1,6
Ensaio de laboratório	baixo a médio	alto a baixo	2,3 a 0,6
Investigações in situ preliminares – anteprojeto	médio a alto	alto a baixo	1,4 a 0,4
Investigações in situ – projeto	alto	alto	1,0

(FONTE: VALEJO, 2002)

A caracterização do meio físico deve ser apresentada de forma integrada (geologia, pedologia, geomorfologia e geotecnia), por meio da descrição de perfis e seções compostas desde o solo superficial até a rocha sã, para cada uma das unidades homogêneas (SOUZA, 1992 e LOLLO, 1995).

A aplicação desta técnica possibilita a compartimentação do terreno em unidades cada vez menores (dependendo da escala pretendida) a partir do uso de sensores remotos e/ou de trabalhos de campo (LOLLO, 1995). Para este tipo de compartimentação são propostos níveis hierárquicos, quais sejam: sistema de terreno ("land system"), unidade de terreno ("land unit") e elemento de terreno ("land element"). A utilização dessa técnica para fins geotécnicos varia segundo a escala e a finalidade, porém, com o método do detalhamento progressivo, podemos classificá-los em três categorias: (1) regional multi-finalidade; (2) regional finalidade específica; e (3) local.

O primeiro grupo é voltado à identificação dos terrenos com vistas à caracterização e planejamento regional (AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY, 1960).

Os trabalhos com finalidade específica possuem como objetivos mais comuns a implantação de obras lineares, análise de riscos, e também, atividades agrícolas (LOLLO, 1995). Segundo o método proposto pelo autor, na fase de semi-detalle da pesquisa serão realizados os estudos para o levantamento das Unidades do Terreno.

Com esse objetivo, foram desenvolvidos trabalhos para a implantação de rodovias em colônias britânicas na África por Schofield (1957a e 1957b), Clare & Beavan (1957), Dowling (1963 e 1964).

Segundo Lollo (1995), os trabalhos locais incluem estudos de avaliação do terreno para fins de prospecção de materiais de construção e para análise de risco de estabilidade dos terrenos.

A carta geotécnica produto desta pesquisa considerou, principalmente, os métodos oriundos do IPT (FREITAS, 2000) e do IG-SP (VEDOVELLO, 2000), pois, baseado nos processos do meio físico foi realizada a compartimentação do terreno por meio da análise geomorfológica (interpretação de imagens aéreas e mapa de declividade).

Cerri et al. (1996) e Zaine (2000) propõem um método de análise do terreno e elaboração de cartas geotécnicas batizado de detalhamento progressivo, com base na proposta das hipóteses progressivas de Santos (1994). Nesse método, os autores propõem uma descida na escala de observação partindo da análise regional ao detalhamento de investigações pontuais. A cada etapa do trabalho, ou escala de detalhamento, é realizada uma avaliação sobre a resposta que o produto elaborado apresenta, e se atende aos objetivos propostos (Figura 2.2). Se a resposta for negativa, será necessária uma investigação e análise em maior detalhe. Com base nessa proposta, esta pesquisa iniciou os estudos em escala regional, foi elaborado um produto em escala de semi-detalle (1:50.000) e, também, um estudo piloto na escala de detalhe (1:10.000).

### **2.1.3 Aplicação de cartas geotécnicas em gestão territorial**

Os estudos desenvolvidos para a gestão territorial são, principalmente, direcionados para o planejamento e gestão de áreas urbanas. No entanto, existem cartas apresentadas em escala regional e de semi-detalle, voltadas a gestão do terreno com diferentes finalidades (planejamento estratégico de infra-estruturas, planejamento ambiental, gestão de recursos hídricos, etc.).

Com base na descrição de instrumentos e mecanismos de gestão ambiental, Vedovello (2000) apresenta uma proposta de utilização de cartas geotécnicas para a gestão territorial regional. A partir das cartas geotécnicas elaboradas compartmentadas em Unidades Básicas de Compartimentação – UBCs, são apresentadas propostas para o plano de manejo de um parque estadual e de um plano diretor municipal.

Em áreas urbanas as cartas geotécnicas podem subsidiar instrumentos legais, tais como: plano diretor municipal, lei de uso e parcelamento do solo urbano, plano de defesa civil, código municipal de obras e também, a gestão ambiental municipal (PRANDINI et al., 1995 e RIDENTE, 2000).

ETAPAS DO DETALHAMENTO PROGRESSIVO	ESTUDOS REALIZADOS	MATERIAL CARTOGRÁFICO UTILIZADO	ENSAIOS Quantificação
<b>1ª FASE (GERAL)</b>		Mapas temáticos regionais Mapa topográfico 1: 50.000 Estudos locais	
<b>2ª FASE (SEMI-DETALHE)</b>		Aerofotos 1: 25.000 Mapa topográfico 1: 10.000 Imagens aéreas de detalhe	Dados de Superfície – Perfis Típicos das Unidades. Avaliação da necessidade de realização de ensaios.
<b>3ª FASE (DETALHE)</b>		Planta de detalhe (1:1.000 a 1:5.000) com o projeto executivo.	Realização de ensaios necessários.

Fonte: (ZAINE 2000)

**Figura 2.2** - Seqüência dos trabalhos do método do detalhamento progressivo, mostrando as etapas descritas e os trabalhos realizados em cada etapa.

Para o plano diretor municipal, em conjunto com a lei de uso e parcelamento do solo urbano, a carta geotécnica é um instrumento de planejamento que pode estabelecer um conjunto de diretrizes, como a escolha de áreas de especial interesse social, definição de vetores de expansão municipal, delimitação de áreas de preservação, traçado de áreas de proteção, planejamento do traçado viário em áreas de expansão, definição de locais para a instalação de equipamentos públicos, entre outros (SALOMÃO, 1994 e CANIL, 2000).

Como instrumento de auxílio a um plano municipal de defesa civil, a carta geotécnica é utilizada para a identificação da vulnerabilidade e riscos a processos geológicos e hidrológicos. São identificadas as áreas de encostas mais íngremes com risco de escorregamentos, os terrenos mais suscetíveis à erosão, os fundos de vale onde ocorrem as enchentes, entre outros processos. A carta geotécnica de planejamento territorial em um município possibilita a identificação de áreas críticas e de risco que devam ser alvo de estudos detalhados, monitoramento e gerenciamento (CERRI et al., 2004 e CANIL et al., 2004).

No código municipal de obras, a carta geotécnica possibilita a definição de tipos de obras padrão, para cada compartimento do meio físico. Estes tipos de obra podem estar relacionados à fundação, padrões construtivos de moradias, drenagem, pavimentação, etc. (RIDENDE, 2000). Salsa (2002) apresenta um exemplo do código de obras de um município sendo aplicado na Gestão Ambiental do mesmo, tendo como base de estudos levantamentos do meio físico, biótico e social.

A carta geotécnica é um importante instrumento para a gestão ambiental municipal, possibilitando a identificação dos limites de áreas de preservação, áreas degradadas ou com potencial de contaminação, áreas contaminadas ou com potencial de contaminação, de locais para a implantação de aterros sanitários, etc. Também é possível a implantação de políticas de monitoramento ambiental de áreas de expansão, gestão das áreas degradadas, licenciamento ambiental de empreendimentos, entre outras (IPT, 2000a e VEDOVELLO, 2000).

Agena (2005) apresenta uma proposição de carta geotécnica direcionada ao planejamento de uso das terras rurais. A elaboração da carta tem como base o mapeamento pedológico. O mapeamento pedológico foi realizado com base na declividade dos terrenos e na interpretação das fotografias aéreas e é apresentado em perfis de solo e seções típicas de cada uma das vertentes. O resultado da pesquisa é a definição da potencialidade de cada uma das unidades mapeadas.



Na gestão territorial de unidades de conservação (parques e áreas de proteção ambiental, etc.), as cartas geotécnicas são instrumentos na definição de políticas preservacionistas e de uso e ocupação do solo. A identificação de áreas com diferentes potencialidades, atreladas à legislação ambiental em vigor, possibilita a gestão dos procedimentos de fiscalização e controle dos limites das unidades de conservação, por meio da sua consideração no plano de manejo. Também, é uma ferramenta para a aplicação de uma política de desenvolvimento sustentável, por meio da proposição de usos específicos em determinados domínios e restrições de uso em domínios de menor potencialidade produtiva e com maior potencialidade de impactos ambientais (IPT, 1991; LOPEZ et al., 1995; VEDOVELLO 2000).

Para as bacias hidrográficas, a utilização das cartas geotécnicas é realizada para a aplicação na gestão dos recursos hídricos. As cartas para a gestão dos recursos hídricos podem combinar a análise das águas e terrenos superficiais com a análise das águas subterrâneas. As cartas devem identificar os limites de áreas de preservação, degradadas contaminadas ou com potencial de contaminação, de locais para a implantação de aterros sanitários, etc. É interessante que as unidades homogêneas identificadas indiquem a suscetibilidade natural à erosão, para a adoção de políticas de prevenção ao assoreamento dos corpos d'água. Algumas cartas ainda apresentam os níveis freáticos, a potencialidade hídrica dos recursos subterrâneos e a potencialidade à contaminação desses recursos (IPT 1999a, IPT 1999b, IPT 1999c, IPT 2000b, IPT 2000c).

#### **2.1.4 Cartas geotécnicas direcionadas à erosão**

Alguns trabalhos de gestão territorial priorizam o tema da erosão para o direcionamento dos seus estudos e elaboração da carta geotécnica.

Segundo Iwasa & Fendrich (1998), no planejamento urbano estas cartas podem auxiliar na determinação do zoneamento de uso do solo, na delimitação do perímetro urbano e no direcionamento do vetor preferencial de expansão urbana. Também, podem ser utilizadas em conjunto colaborando na definição de leis ambientais municipais, indicando áreas de proteção permanente, áreas de preservação, áreas destinadas a parques e praças públicas e áreas de proteção de mananciais.

A carta de suscetibilidade à erosão é a base para a orientação do poder público na escolha e seleção de áreas preferenciais para a instalação de futuros conjuntos habitacionais e loteamentos principalmente populares já que estes são grandes indutores da deflagração de

processos erosivos, por se instalarem geralmente em terrenos de menor custo, situados em áreas mais problemáticas sob o ponto de vista geotécnico, além de poder apresentar diretrizes de implantação do sistema viário (SALOMÃO, 1994).

Estas cartas são base para ações imediatas visando a não deflagração de novos processos erosivos e para a correção onde já houver processos instalados. Pode servir como base ao código de obras dos municípios, através da indicação de soluções normativas de obras de controle de erosões, bem como de soluções normativas para a implantação de novos loteamentos e conjuntos habitacionais (IWASA & FENDRICH, 1998).

Alguns estudos voltados à prevenção de erosão, possuem como base metodológica atributos relacionados ao meio físico e hidrológicos, como o potencial de escoamento superficial, definido pelo comprimento da vertente, inclinação, formato, etc., e caracterização geotécnica dos materiais inconsolidados para a definição da suscetibilidade dos terrenos, como são os casos de Gruber & Rodrigues (1995); Aguiar et al. (1995); Nishiyama & Zuquette (1996); Gomes & Rodrigues (1998); Grecchi & Pejon (1998); Rodrigues & Pejon (1998) e Almeida & Rodrigues (1998). Estes autores, por vezes, chamam as cartas geradas de potencial à formação de erosões, potencial a risco de erosão ou suscetibilidade. Esta definição também é adotada por Pejon & Zuquette (1995), quando apresentam a importância no estabelecimento de cartas de potencial ao escoamento superficial para a definição do potencial a risco de erosão acelerada, ou seja, suscetibilidade natural.

Outros trabalhos utilizam a integração de dados pedológicos, geológicos e geomorfológicos para a definição de suas classes de suscetibilidade, tais como: Salomão (1994), Ridente (2000), Canil (2000), Ridente et al. (1995), Ridente et al. (1998), além de vários outros trabalhos do IPT. O método de integração destes dados é que se diferencia entre um trabalho e outro. No entanto, o levantamento, análise e interpretação dos tipos de solo frente aos processos de erosão é, no geral, o principal atributo para a definição das classes de suscetibilidade à erosão.

### **2.1.5 Cartas geotécnicas aplicadas a empreendimentos**

Segundo Legget (1964) apud Zuquette (1987) as primeiras cartas geotécnicas foram elaboradas no ano de 1.902 por geólogos americanos que foram pioneiros na publicação de um trabalho que interpretava e organizava de maneira sistemática, dados geotécnicos sobre a caracterização do subsolo da cidade de Nova Iorque, com base em 1.400 furos de sondagens realizadas, como subsídio aos estudos de fundações.

Os primeiros trabalhos de elaboração de cartas geotécnicas realizados na Alemanha no início do século passado buscavam retratar informações adequadas à implantação de obras civis e estruturais e outras atividades antrópicas, principalmente em áreas urbanas (ZUQUETTE & GANDOLFI, 2004).

A construção de uma edificação exige, em geral, informações pontuais sobre o meio físico, que são necessárias para a concepção e projeto de suas fundações o tipo de solo, sua capacidade de suporte e a profundidade do nível d'água. Essas informações podem ser apresentadas em boletins de sondagem tipo SPT (perfil), o que facilita muito a visualização e o entendimento, conforme as normas já estabelecidas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 1999). No entanto, para outros tipos de obras que exigem uma análise espacial do terreno, faz-se necessária a espacialização dos dados por meio de seções e mapas.

Para empreendimentos de grande porte (complexo de geração hidrelétrica, complexo mineiro, porto, ferrovia, metrô ou rodovia, etc), com interferência regional e com grandes volumes de movimentação de solo e rocha, podendo atravessar diferentes tipos de maciços e cujas fundações podem ter de suportar enormes cargas, a quantidade de informações necessárias sobre o meio físico para o desenvolvimento do projeto também são enormes. Estudos e investigações como mapeamentos geológicos regionais e locais, levantamentos topográficos, sondagens a percussão e rotativas, estudos batimétricos, geofísicos, sísmológicos, ensaios, análises laboratoriais, etc., são informações que são consideradas durante a elaboração dos projetos.

A síntese das informações coletadas pelas diferentes formas de investigação pode ser apresentada em planta (mapas e cartas), seções ou em blocos diagrama (três dimensões). Estas formas de síntese, geralmente elaboradas na fase de projeto, procuram apresentar o comportamento homogêneo de maciços de solo ou rocha frente às solicitações que a obra do empreendimento irá exigir. Dependendo do tipo de empreendimento e da necessidade de informações requeridas para elaboração do projeto, uma ou mais dessas formas de síntese é apresentada. No geral, a apresentação mais comum para os dados geológico-geotécnicos em projetos de grandes empreendimentos se dá em forma de seção, sendo nos casos mais complexos elaborados os blocos diagrama. A apresentação em mapas é mais rara, no entanto, existem vários trabalhos realizados.

As escalas de apresentação dependem da fase em que o empreendimento se encontra. Segundo Augusto Filho (1992) e Scarance (2004), nos estudos prévios e de viabilidade é

quando são mais utilizados os dados cartográficos. Nesta fase, são utilizados mapeamentos em escalas regionais (escalas 1:1.000.000 a 1:100.000). Para a elaboração dos projetos, também podem ser utilizados os produtos cartográficos oriundos de mapeamentos em escala de semi-detalle (escalas 1:100.000 a 1:25.000), e para a elaboração dos projetos executivos os dados necessitam ser apresentados em escala de detalhe (1:10.000 a 1:500), quando geralmente são apresentados na forma de seções e blocos diagrama.

A carta geotécnica desta pesquisa não segue esta forma de apresentação, pois trata-se de um empreendimento já em operação, e cujo objetivo é o desenvolvimento de um SGA.

A exigência legal de realização de estudos ambientais preliminares para a avaliação de impacto dos empreendimentos e proposição de medidas, leva à análise de produtos cartográficos regionais nos estudos prévios e, por vezes, à elaboração de produtos cartográficos de semi-detalle na fase de viabilidade do projeto. No entanto, em geral, estes estudos não apresentam obrigatoriamente a caracterização dos maciços por meio de ensaio e análises, mas apenas uma análise do terreno que pode ser desenvolvida por diferentes métodos.

### **2.1.6 Cartas geotécnicas aplicadas a rodovias e obras lineares**

As primeiras cartas geotécnicas elaboradas para fins de planejamento geotécnico de rodovias foram elaboradas por Belcher (1948). Nas décadas de 50 e 60 do século passado, foram desenvolvidos trabalhos por ingleses para a implantação de rodovias em colônias britânicas na África (SCHOFIELD, 1957a e 1957b; CLARE & BEAVAN, 1957 e DOWLING, 1963 e 1964).

No geral, os trabalhos de mapeamento geotécnico são voltados aos estudos para a implantação de empreendimentos para análise de alternativas de traçado, estudo de disponibilidade de material, escavabilidade, estudo de estabilidade de maciços (solo ou rocha), ou seja, na sua fase de viabilidade (CAETANO, 2002; BIEVRE & MERCIER, 2005; DECK, LAUMOUNIER e MERRIEN-SOUKATCHOFF, 2005; OLIVEIRA R., 2005; ONODA, 2005; REBELO, 2005; SARRA, 2005; SHANG, 2005). Galves (1995) define quais condicionantes geotécnicos devem ser considerados como parâmetros para a elaboração de projetos rodoviários.

Para as rodovias, alguns trabalhos tomam como base o emprego da cartografia geotécnica visando a adequabilidade de terrenos na implantação e recuperação (NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM, 1980). Barbosa & Cerri (2004),

com base no mapeamento de superfície, apresentam as unidades geotécnicas e a utilidade a que cada uma destas pode servir ao empreendimento. Indica a potencialidade de realização de cortes, escavações e disponibilidade de material, além da suscetibilidade a processos, o que permite a interpretação para a avaliação de impacto ambiental.

Outros trabalhos utilizam a aplicação da cartografia geotécnica para previsão de acidentes relacionados a movimentos gravitacionais de massa (COSTA NUNES, 1982 e ALMEIDA, L. C. R. 1998). Garibaldi (2004) inova apresentando uma proposta que une a elaboração de carta geotécnica direcionada a movimentos gravitacionais de massa, com o modelo de previsão de acidentes associados a estes processos por meio de acompanhamento de índices pluviométricos no âmbito de um Sistema de Gestão Ambiental de empreendimento rodoviário. No âmbito de um SGA, a mesma autora propõe o gerenciamento de passivos ambientais causados por escorregamentos.

Akioosi et al. (2005), elaboram uma carta de restrições ambientais para a definição de traçado da rodovia que contorna o município de Sorocaba, SP. Para este estudo foram considerados como atributos a topografia, as condições geológico-geotécnicas, hidrologia, desapropriações e interferências no ecossistema, além das questões relacionadas à legislação ambiental.

Também com a finalidade da avaliação de impacto ambiental, no EIA/RIMA apresentado para o Trecho Sul do Rodoanel Mário Covas (FUNDAÇÃO ESCOLA DE SOCIOLOGIA E POLÍTICA DE SÃO PAULO, 2004), os dados do meio físico são apresentados de forma sintetizada em um produto chamado de “Mapa de Terrenos” na escala 1:20.000. Este mapa, elaborado com base no método de Austin & Cocks (1978), apresenta uma análise conjunta entre os dados disponíveis de hidrografia, geologia, geomorfologia e cobertura de materiais inconsolidados. Este estudo apresentado de forma integrada proporciona um melhor entendimento da dinâmica dos terrenos favorecendo a análise de impacto ambiental.

Ainda, no projeto do Rodoanel Mario Covas – Trecho Sul, são apresentados independente do estudo ambiental, os dados geológicos geotécnicos do projeto básico e executivo. São mapas geológicos na escala 1:25.000 elaborados com base em dados pretéritos, interpretação de fotografias aéreas e nos boletins de sondagens. Também, são apresentadas seções geológicas geotécnicas na escala 1:2.000 nos locais de maior interesse (escavações, fundações, etc), com base nos perfis de sondagem.

Augusto Filho, Magalhães e Gramani (2005) apresentam os estudos realizados na Serra do Mar em São Paulo, para análise da suscetibilidade a escorregamentos e corridas de massa, em seis bacias hidrográficas que são atravessadas pelas rodovias Anchieta e Imigrantes em ambiente de um SIG. Foram utilizados os atributos de declividade, direção da encosta, curvatura da encosta, litologia e ocupação do solo. Também, foi realizada análise em dois cenários de chuvas, eventos chuvosos com períodos de retorno de 10 e de 100 anos.

Para outros tipos de empreendimentos de obras lineares, alguns trabalhos elaboram cartas de risco para o monitoramento e gerenciamento de dutos de gás (BURNS SCOTT, 2005; BOOTH, HODDER e REEDER TIM, 2005 e OLIVEIRA, VASCONCELOS, ARAGONEZ, 2005). Gramani et al. (2005), apresentam os estudos elaborados para os dutos de petróleo OSBAT que cortam a Serra do Mar de Cubatão (SP) até o trecho de planalto, com relação à suscetibilidade de ocorrência de corridas de massa. Foram utilizados atributos que possibilitam a análise de vazão de pico de chuvas com diferentes períodos de retorno.

Silva (2002) apresenta uma proposta de SGA para empreendimentos com linhas aéreas de transmissão de energia elétrica inseridas em Unidade de Conservação, na Serra do Mar, no Estado de São Paulo. Nessa pesquisa, a autora deu ênfase aos processos tecnológicos dos empreendimentos e suas relações com os processos do meio físico, dentro de uma área de Parque.

## **2.2 Sistema de Gestão Ambiental**

O Planeta se transforma desde a sua origem. Entretanto, no período marcado pela presença do Homem, a transformação deixou de ser apenas geológica para ser também cultural, tecnológica ou, como proposto por Ter Stepanian (1988) e Oliveira A. M. S. (1994), tecnogênica. Estes autores propõem ainda, que a partir do momento que as transformações do Homem começaram a esculpir um novo planeta, este passou a ser considerado um agente geológico, o que define um novo período geológico, o Quinário.

As transformações impostas pelas sociedades modernas deixam suas marcas no Planeta e são praticamente irreversíveis, pois são alterações nos sistemas ambientais (SANCHEZ, 1998). Segundo Wathern (1988), a mudança realizada por uma atividade em um determinado local por um período de tempo, só é comparada se essa atividade não tivesse sido iniciada.

As rodovias são intervenções realizadas pelo Homem que transformam o meio gerando uma nova realidade ambiental. Cabe ao Homem, utilizando da ciência e tecnologia,

desenvolver técnicas e procedimentos que proporcionem uma melhor condição na implantação e operação desses empreendimentos.

Os Sistemas de Gestão Ambiental - SGA foram criados com o objetivo de definir instrumentos que aperfeiçoem os métodos e práticas de controle ambiental de empreendimentos. A implantação de um SGA é resultado de uma Política Ambiental pré-estabelecida. A Política Ambiental de uma organização é definida em um documento que expressa o conjunto de objetivos, metas, normas e leis, procedimentos, atribuições e responsabilidades que serão implementadas pelos instrumentos do SGA (FORNASARI FILHO, 2001).

Também, a Política Ambiental é parte da política governamental (de um estado ou do país) e, mesmo tendo seus próprios objetivos, estes estão subordinados aos objetivos da política maior, devendo-se compatibilizar e integrar às demais políticas setoriais e institucionais desse governo (SILVA, 2002).

Vários autores conceituam os SGAs:

Sánchez (1994) define: *“gerenciamento ambiental é o conjunto de operações técnicas e atividades gerenciais que visa assegurar que um empreendimento opere dentro dos padrões legais ambientais exigidos, minimize seus impactos ambientais e atenda a outros objetivos empresariais, como manter um bom relacionamento com a comunidade”*.

Também, Valle (1995) conceitua: *“gestão ambiental é um conjunto de medidas e procedimentos bem definidos e adequadamente aplicados que visam reduzir e controlar os impactos produzidos por um empreendimento sobre o meio ambiente”*.

As normas NBR ISO 14.001:1996 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 1996a) e NBR ISO 14.004:1996 (ABNT, 1996b), que tratam das diretrizes e procedimentos gerais, dizem que o Sistema de Gestão Ambiental constitui *“a parte do sistema de gestão global que inclui estrutura organizacional, atividades de planejamento, responsabilidades, práticas, procedimentos, processos e recursos para desenvolver, implementar, atingir, analisar criticamente e manter a política ambiental”*.

E por último, Reis (1996) adota: *“gerenciamento ambiental é o conjunto de rotinas e procedimentos que permite a uma organização administrar adequadamente as relações entre as suas atividades e o meio ambiente que as abriga, atentando para as expectativas das partes interessadas”*.

As quatro definições tem similaridades e se complementam, apenas, cabe ressaltar que a definição apresentada por Sánchez (1994) explicita o fato da adoção da gestão ambiental ocorrer predominantemente em empreendimentos já em fase de operação, que é o estudo de caso desta pesquisa.

A implantação de um SGA por uma organização tem como pontos fundamentais, segundo Andrade, Tachizawa e Carvalho (2004), a:

- Prioridade na organização, partindo a iniciativa de seu dirigente máximo, e
- Gestão integrada (processo de aperfeiçoamento contínuo, formação de pessoal técnico, auditoria preliminar, inovação de produtos seguros, conselho de consumidores, instalações adequadas, investigações e monitoramento, pesquisa, prevenção, exigência de melhoria dos fornecedores, planos de emergência, transferência de tecnologia, desenvolvimento de políticas públicas, comunicação aberta e cumprimento de normas, regulamentos e legislação).

O conjunto de medidas, procedimentos, rotinas, operações técnicas ou atividades gerenciais citados pelos autores, abrigam instrumentos que permitem gerenciar as atividades ambientais planejadas.

Bitar (1996) apresenta como instrumentos mais apropriados ao gerenciamento de empreendimentos:

- Avaliação de impacto ambiental;
- Auditoria ambiental;
- Recuperação de áreas degradadas;
- Monitoramento ambiental;
- Investigação de passivo ambiental;
- Seguro ambiental;
- Análise de risco; e
- Sistema de gerenciamento ambiental.

Sánchez (1994) divide estes instrumentos em analíticos e organizacionais e discute a inserção de cada um deles, nas diferentes fases do empreendimento (Quadro 2.2).



Tipo de instrumento Fase de aplicação	<b>ANALÍTICO</b> (ajudam na tomada de decisão)	<b>ORGANIZACIONAL</b> (refletem a organização da empresa)
Projeto	Avaliação de impacto ambiental – AIA Análise de risco ambiental	
Implantação	Monitoramento Ambiental Auditoria Ambiental Recuperação de Áreas Degradadas	Sistema de Gestão Ambiental - SGA
Operação	Auditoria Ambiental Monitoramento Ambiental	Sistema de Gestão Ambiental - SGA Seguro Ambiental
Desativação	Monitoramento Ambiental Recuperação de Áreas Degradadas Investigação de Passivo Ambiental	Seguro Ambiental

FONTE: (SÁNCHEZ 1994).

**Quadro 2.2** – Fases de utilização dos instrumentos de gestão ambiental.

Apesar de estarem todos inseridos na fase de operação, é o fundamento desta pesquisa o estudo da utilização e o desenvolvimento dos instrumentos que estão inseridos no âmbito dos instrumentos analíticos propostos por Sánchez op. cit., quais sejam: avaliação de impacto ambiental, auditoria ambiental, recuperação de áreas degradadas e monitoramento ambiental. Esses instrumentos não estão todos inseridos na operação, pois parte de um modelo ideal de funcionamento de um empreendimento; no entanto a rodovia SP 300 (Marechal Rondon) existe desde a década de 50 e não foi alvo de um processo formal de licenciamento ambiental. A análise dos SGAs como um todo tem o objetivo de entender o mecanismo de relação entre os instrumentos analíticos e propor melhorias.

A introdução dos conceitos dos instrumentos de gestão ambiental nas organizações das mais diversas áreas da economia foi motivada inicialmente pelas exigências dos órgãos reguladores (agências reguladoras) e das instituições financeiras internacionais. Até o início da década dos anos 90, eram realizadas apenas a avaliação de impacto ambiental e eventuais auditorias, sempre associadas à fase de instalação.

O início da utilização de outros instrumentos de gestão e a extensão do uso destes durante a fase de operação teve início neste século com a atualização da legislação ambiental brasileira, por meio da Resolução CONAMA 237/97<sup>4</sup>, que acenou com agilização dos prazos

<sup>4</sup> RESOLUÇÃO CONAMA 237/97 – Dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental

de análises de pedidos de licença para empresas que adotem programas voluntários de gestão ambiental.

A experiência e os métodos de gestão ambiental de empreendimentos têm início no Brasil no final na década de 80. As primeiras experiências apontam à necessidade de envolvimento do corpo diretivo das organizações para que possa ser alcançado o sucesso do SGA, e esta condicionante mantêm-se até os dias de hoje. Sánchez (2006) cita outros fatores determinantes do sucesso de um SGA: preparação cuidadosa do plano de gestão, envolvimento de todas as partes interessadas e a adequada implantação.

Os trabalhos mais recentes apontam para a necessidade do conhecimento profundo do meio ambiente, como forma de otimização dos procedimentos de gestão (FORNASARI FILHO, 1996). Vários estudos já foram realizados e artigos publicados sobre SGAs aplicados a rodovias e outras obras lineares, tais como: Almeida, J. R. F. (1998), Silva (2002), Akioosi (2002), Kesselring (2002), Küller (1998), Küller (2005), Galves (1998), entre outros.

### **2.2.1 Avaliação de impacto ambiental – AIA**

A Avaliação de Impacto Ambiental – AIA (*Environmental Impact Assessment – EIA* em inglês) designa uma série de procedimentos, ferramentas e metodologias, utilizadas por organizações públicas ou privadas, voltadas ao planejamento e gestão ambiental. É um dos instrumentos do SGA proposto para descrever, classificar e propor medidas para minimizar os impactos ambientais de um empreendimento. Surgiu com o objetivo de antever conseqüências futuras sobre a qualidade ambiental acerca de decisões tomadas na atualidade. Suas ações são fundamentadas na prevenção, minimização, correção ou compensação de impactos ambientais (GALLARDO, 2004 e SÁNCHEZ, 1991).

É proposto que o AIA seja um instrumento básico para a elaboração dos projetos de instalação do empreendimento, subsidiando com informações ambientais as decisões sobre as características do projeto.

Os documentos gerados para atender as exigências do processo de avaliação de impacto ambiental, são Estudo de Impacto Ambiental - EIA e Relatório de Impacto Ambiental – RIMA que a evolução da legislação atrelou ao processo de licenciamento ambiental (Licença Prévia – LP, Licença de Instalação – LI, Licença de Operação), (Lei

Federal 6.938 de 1981<sup>5</sup>, Resolução CONAMA 001/1986<sup>6</sup>, Decreto Lei 99.274/1990<sup>7</sup>, Resolução CONAMA 237/1997).

O instrumento da AIA é considerado uma ferramenta importante para a elaboração de uma política de desenvolvimento sustentável (GLASSON et al., 1999). Os mesmos autores, assim como Sánchez, Silva e Paula (1993) consideram que o AIA funciona apenas se for atrelado a uma política de decisão (processo de licenciamento), e como apoio aos projetos de planejamento (viabilidade técnica, alternativas locacionais, etc.). Sanchez et al. op cit. consideram ainda, que o AIA é um instrumento de gestão (seus fundamentos auxiliam na tomada de decisões do sistema de gestão ambiental) e também, um instrumento de negociação social (participação pública no processo decisório).

A AIA é considerada um processo democrático, que possui duas vertentes principais: técnico-científica e político-institucional (MOREIRA, 1989).

O processo de AIA é dividido em etapas por vários autores. No geral, são propostas duas etapas: pré-decisão e pós-aprovação. Para Sánchez (1995), a etapa inicial se divide em duas: a concepção do modelo da análise e a análise propriamente dita. Dias (2001) ressalta que se trata de um processo lento e moroso, e que necessariamente existe uma etapa inicial de triagem. Para Glasson et al. (1999) o processo é cíclico, podendo ter retornos às etapas iniciais por meio da interação entre os vários estágios.

No entanto, a AIA somente é válida se for realizado o acompanhamento da implementação de suas medidas mitigadoras propostas, além do acompanhamento da operação do empreendimento (WLODARCZYK, 2000; DIAS, 2001 e MORRISON-SAUDERS, 2001).

No estudo de caso desta pesquisa, por se tratar de um empreendimento antigo e que está em operação, sem ter sido submetido a um processo formal de licenciamento ambiental,

---

<sup>5</sup> Já alterada pela Lei 7.804/1989 dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente e seus fins, mecanismos, formulação e aplicação, e dá outras providências.

<sup>6</sup> Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental (Alterada pelas Resoluções CONAMA 11/86, 05/87 e 237/97).

<sup>7</sup> Regulamenta a Lei 6.902 de 1981 e a Lei 6.938 de 1981, que dispõem respectivamente sobre a criação de Estações Ecológicas e Áreas de Proteção Ambiental e sobre a Política Nacional de Meio Ambiente, e dá outras providências.

não existe uma AIA como referência. Por tratar de empreendimentos em operação, para os quais não existe estudo ambiental preliminar, entende-se que a auditoria ambiental e a AIA se confundem em seus objetivos (Braga et al. 1996).

O AIA, na sua essência, foi concebido para prevenir danos – e prevenção requer previsão, ou antecipação da provável situação futura (MILARÉ E BENJAMIN, 1993). Para um empreendimento em operação, não pode existir a previsibilidade do impacto, pois este já ocorreu ou está ocorrendo. No âmbito de um processo de licenciamento, o que pode ser feito para um empreendimento em operação é o reconhecimento do impacto ambiental que o empreendimento realizou durante as suas fases de implantação e operação.

A falta de estudos ambientais prévios é a situação mais comum nas rodovias no Brasil, e este quadro definiu a necessidade da elaboração de uma análise do impacto ambiental existente na rodovia, como um dos instrumentos de um SGA, com o objetivo de subsidiar a proposição de um sistema de monitoramento (ROMANINI, 2000b). Desta forma, será apresentada uma **caracterização do impacto ambiental** existente com o qual a rodovia em operação tem algum tipo de relação.

Existem vários métodos de elaboração de AIAs, muito utilizados e conhecidos: espontâneo (*ad hoc*), listagem de controle (*check list*), matrizes (destaque para a matriz de Leopold), redes de interação (*networks*), superposição de mapas (*overlay mapping*), modelos de simulação, análise multicritério, sistemas especialistas e modelo Fuzzy (FOGLIATTI, FILIPPO e GOUDARD, 2004). Cada um desses métodos apresenta virtudes e limitações, dependendo do tipo de empreendimento e do contexto em que este se insere. Esses métodos são desenvolvidos para os estudos preliminares à implantação de um empreendimento, sendo que nenhum dos métodos existentes refere-se especificamente à análise de um empreendimento em operação.

Ross (1995) propõe que as análises ambientais para o meio físico têm de ser realizadas de forma integrada, e não como sínteses descritivas de diferentes áreas do conhecimento (Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Hidrologia, e outros) apresentados em mapas ou cartas separadas e em diferentes escalas.

Desta forma, a carta geotécnica, independente de seus métodos de elaboração, é uma ferramenta que busca promover a integração de informações temáticas (SANCHEZ, 2006), por meio do levantamento, avaliação e análise dos atributos do meio físico.

Esta pesquisa tem o objetivo de demonstrar que a elaboração de uma carta geotécnica e a identificação das diferentes suscetibilidades naturais do meio, bem como uma análise do risco potencial e instalado, dá subsídios para a Avaliação de Impacto Ambiental e proporciona que este seja um instrumento consistente no desenvolvimento do SGA.

### **2.2.2 Auditoria ambiental**

A auditoria ambiental é um instrumento de gestão que permite uma avaliação sistemática, periódica, documentada e objetiva do desempenho ambiental de uma organização e dos sistemas de gestão implantados (VALLE, 1995).

Braga et al. (1996) destacam que o objetivo da auditoria ambiental é verificar o atendimento à legislação, normas, regulamentos e técnicas relativas ao conjunto de exigências ou requisitos ambientais. Fornasari Filho et al. (1994) ressaltam o papel da auditoria como parte integrante do sistema de gestão ambiental das normas BS 7750 e ISO 14001, juntamente com outros autores (RUESGA & DURÁN, 1995 e GILBERT, 1995).

Para a área industrial, Andrade, Tachizawa e Carvalho (2004) definem como objetivos da auditoria ambiental:

- Permitir a investigação sistemática dos programas de controle ambiental de uma empresa;
- Auxiliar na identificação de situações potenciais de problemas ambientais;
- Verificar se a operação industrial está em conformidade com as normas, padrões legais e também, com padrões mais rigorosos definidos pela empresa.

Valle (1995) define como pontos fundamentais a serem levantados no processo de auditoria:

- Situação do licenciamento, a competência para o controle dos riscos ambientais; e
- Verificação da confiabilidade do monitoramento.

Silva (2002) complementa os objetivos da auditoria ambiental como sendo os seguintes:

- Avaliar o empreendimento levando em conta os passivos ambientais identificados e os eventuais custos de sua reabilitação,

- Melhorar as condições de diálogo da empresa com a comunidade e com os órgãos ambientais de licenciamento e controle, seguradoras, organizações não governamentais - ONGs; e
- Identificar possíveis melhorias na gestão dos gastos destinados à correção de problemas ambientais.

Sánchez (1994) acrescenta aos resultados esperados de uma auditoria ambiental, a verificação da estrutura da organização para agir em situação de emergência.

Para empreendimentos em operação, Barros, Menandro e Silva (1993) consideram como mais adequado, o uso das auditorias de estudos de impacto ambiental - EIA e de operação, ou seja, a auditoria tem o objetivo de verificar a execução das medidas previstas nos estudos ambientais e a sua eficácia em relação aos efeitos que se pretende mitigar ou potencializar.

Como não existem estudos preliminares para o trecho de rodovia em questão, a auditoria ambiental será pautada no reconhecimento dos impactos existentes e no reconhecimento da potencialidade de formação de novos impactos ambientais.

Para esta pesquisa, adota-se o conceito de auditoria preliminar informal, conforme a proposta de Braga et al. (1996), no entanto será chamado apenas de auditoria ambiental. Segundo os autores, a auditoria ambiental informal tem o objetivo de situar a organização, preparando para a análise de desempenho ambiental e deve ser realizada antes da implantação de um SGA formal.

O levantamento constitui-se na análise da situação ambiental atual do empreendimento em relação à existência de impactos ambientais e a possibilidade de ocorrência de novos impactos relacionados aos processos do meio físico (caracterização de impacto ambiental). Não serão verificados os procedimentos ambientais atuais das organizações, pois não é o objetivo da pesquisa.

A auditoria ambiental tem, nesta pesquisa, o objetivo de identificar as áreas degradadas por erosão e outros processos do meio físico existentes ao longo da rodovia no trecho estudado, bem como identificar as condições da infra-estrutura de drenagem existente. A razão para o levantamento da infra-estrutura de drenagem é que se tem como premissa, que se o sistema de drenagem estivesse implantado com base em critérios técnicos e de maneira coerente com as limitações do meio em que se insere; a ocorrência de processos de erosão se daria apenas em casos acidentais ou por interferência de terceiros. Ou seja, serão identificadas

situações potenciais de formação de problemas ambientais. O levantamento da infra-estrutura de drenagem será realizado apenas em trecho piloto para análise de sua eficiência e adequabilidade ao meio em que está inserida, apenas como demonstração do método.

### **2.2.3 Recuperação de áreas degradadas**

A degradação ambiental considerada nesta pesquisa refere-se somente aos processos de erosão, e outros processos do meio físico serão tratados secundariamente.

A degradação é adotada pela aproximação do conceito de impacto ambiental negativo, geralmente associado a situações estabelecidas por alguma intervenção humana (BITAR & ORTEGA, 1998).

Alguns autores consideram áreas degradadas como passivos ambientais. Sánchez (1998) considera como passivo ambiental “*o acúmulo de danos ambientais que devem ser reparados a fim de que seja mantida a qualidade ambiental de um determinado local*”. Também, alguns órgãos rodoviários chamam suas áreas degradadas de passivos ambientais (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE - DNIT, 2006a; DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO - DER/SP, 2006a; DEPARTAMENTO DE INFRA ESTRUTURA DE SANTA CATARINA – DEINFRA, 2005; DEINFRA 2004a; DEINFRA 2004b; DEINFRA, 2004c e DEPARTAMENTO DE ESTRADA DE RODAGEM DO PARANÁ - DER/PR, 2004).

O conceito de ativo ou passivo ambiental está necessariamente relacionado a um processo gerencial e/ou comercial. São considerados ativos os estoques (insumos e almoxarifados), o imobilizado (máquinas, equipamentos e instalações) e o diferido (pesquisa, desenvolvimento de tecnologia e obtenção de informação) de uma organização.

Os passivos ambientais referem-se aos benefícios econômicos que serão sacrificados em função da obrigação contraída comercialmente perante terceiros para o meio ambiente. São relacionados aos custos ambientais de preservação, proteção e recuperação do meio ambiente (DE JORGE, 2001).

Bergamini (2000) relaciona as seguintes obrigações que podem ser consideradas passivos ambientais: legal (requerida pela legislação ou contrato), construtiva (quando parte da iniciativa da própria organização em decorrência da sua política, respondendo a uma expectativa criada pela própria empresa), e equitativa (aquela cuja empresa considera correto fazê-lo).

Uma área degradada torna-se passivo ambiental quando esta passa a ser considerada no balanço patrimonial de uma organização, especialmente quando se trata de empresas abertas com ações negociadas em bolsas de valores. Esta pesquisa irá chamar as áreas degradadas de passivos ambientais, pois um de seus objetivos é demonstrar que a regularização ambiental do empreendimento tem de se desdobrar em ações concretas no âmbito de um plano de gestão ambiental e, portanto, considera-se que estas áreas serão recuperadas futuramente e necessitarão de investimentos para a realização das intervenções.

O conceito de recuperação associa a intenção de se obter a estabilidade dos processos do meio físico atuantes na área e, também, a sua recuperação visual (BITAR & ORTEGA, 1998). Consiste na recuperação para a proteção do solo contra a erosão e, em um sentido mais amplo, promover a integração da rodovia com o meio ambiente (FOGLIATTI, FILIPPO e GOUDARD 2006).

A recuperação de áreas degradadas de empreendimentos em operação, devido à possibilidade de existir um grande número de áreas, pode vir a requerer a elaboração de um Plano de Recuperação de Áreas Degradadas – PRAD. Este instrumento é muito comum nas exigências dos órgãos ambientais durante os processos de licenciamento, ou quando da desativação de um empreendimento.

Augusto Filho (2002) apresenta uma proposta de gerenciamento de recuperação de passivos ambientais utilizando-se de um banco de dados no ambiente de um SIG. Segundo o autor, a proposta é organizar os dados e disponibilizar de forma fácil e rápida a consulta por terceiros.

O cadastramento desses passivos ambientais foi realizado utilizando-se o método adotado pelo DER/SP (DER/SP, 1991 e DER/SP, 2006a e DER/SP, 2006b). O método do DER/SP prevê uma hierarquização das áreas degradadas para se determinar a priorização de intervenção.

#### **2.2.4 Monitoramento ambiental**

Bitar & Ortega (1998) definem Monitoramento Ambiental como sendo o instrumento que consiste essencialmente em realizar medições e observações específicas, em geral dirigidas a alguns poucos indicadores e parâmetros, com o objetivo de verificar se determinados impactos ambientais estão ocorrendo, dimensionar a sua magnitude e, ainda, avaliar se as correspondentes medidas preventivas adotadas estão ou não sendo eficazes.



Complementando, segundo Valle (1995) e Donaire (1994), monitoramento ambiental pode ser definido como um sistema contínuo de observação, medição e avaliação. Estes autores propõem como objetivos:

- Documentar impactos de uma ação proposta;
- Alertar para impactos não previstos, ou mudanças nas tendências previamente observadas;
- Oferecer informações imediatas quando um indicador de impactos se aproxima de valores críticos;
- Oferecer informações que permitam avaliar medidas corretivas contribuindo para a troca ou ajuste das técnicas e ferramentas utilizadas; e
- O período de monitoramento deve cobrir desde a concepção do empreendimento (caracterização da situação original gerando dados para comparações futuras) extrapolando, de acordo com o tipo de empreendimento, a vida útil do mesmo.

Para Cerri et al. (2002), o monitoramento ambiental tem o objetivo de minimizar impactos ambientais de um empreendimento. Os autores propõem um método de documentação e ações que permitem o acompanhamento dos procedimentos adotados e da implementação das medidas compensatórias exigidas pelos órgãos ambientais no âmbito de uma obra de implantação de gasodutos.

Outros trabalhos citam exemplos de monitoramentos ambientais realizados durante a execução de obras, ou seja, durante a implantação de empreendimentos. Gallardo (2004) apresenta o resultado do acompanhamento ambiental da implantação da pista descendente da rodovia dos Imigrantes – SP. De Jorge et al. (2004a), De Jorge et al. (2004b), De Jorge et al. (2005) e DER/SP (2004), apresentam o método e resultados da supervisão ambiental de obras de recuperação rodoviária no Estado de São Paulo.

Observa-se uma variedade de termos na definição dos trabalhos de monitoramento ambiental. De Jorge et al. (2005) conceituam supervisão ambiental como sendo o acompanhamento ambiental de obras por meio de vistorias técnicas sistemáticas e periódicas, onde se verifica o cumprimento das medidas e procedimentos de prevenção apresentados preliminarmente nos documentos do licenciamento ambiental. A supervisão ambiental tem o objetivo de antecipar e identificar possíveis danos ambientais, atuando de forma preventiva e orientativa, com o intuito de evitar ou mitigar os impactos ambientais causados pelas mesmas

e permitindo que estas sejam executadas de acordo com os procedimentos de controle preconizados nos projetos, sem a geração de qualquer passivo de ordem ambiental. A supervisão ambiental não apenas fiscaliza como orienta o cumprimento das metas de recuperação e melhoria da qualidade ambiental das obras.

A supervisão ambiental é, portanto, o monitoramento ambiental sendo realizado durante a fase de implantação da obra, tendo ainda a finalidade de fiscalizar.

O monitoramento ambiental é o acompanhamento ambiental de um empreendimento em todas as suas fases, realizado com periodicidade definida, com o objetivo de analisar se as medidas de prevenção ambiental estão sendo aplicadas, e também se existem ocorrências de impactos ambientais. Por meio da definição de um padrão ambiental exigido é possível, por meio do monitoramento periódico, analisar o desempenho ambiental do empreendimento (DERSA 2006a).

A realização do monitoramento ambiental de um empreendimento deve sempre ter como base a avaliação de impacto elaborada anteriormente. Com base na AIA, são reconhecidos os impactos que podem vir a ocorrer nas diferentes fases do empreendimento, e pode-se avaliar se as medidas mitigadoras propostas estão sendo implantadas. Se o processo de licenciamento do empreendimento for completo, os documentos a serem utilizados como referências para a realização do monitoramento ambiental durante a fase de operação são:

- Legislação ambiental em vigor;
- Estudos elaborados no processo de licenciamento (RAP, EIA-RIMA);
- As exigências dos órgãos ambientais emitidas durante o processo de licenciamento;
- Plano Básico Ambiental – PBA geralmente elaborado para a obtenção da Licença de Instalação - LI, definindo as medidas de controle preventivas que devem ser aplicadas no empreendimento;
- Projeto de Controle Ambiental da obra – PCA, que detalha os projetos das medidas preventivas em cada frente de obra;
- Plano de Gerenciamento de Riscos; e
- Plano de qualidade ambiental, que define e detalha as medidas preventivas a serem adotadas durante a fase de operação do empreendimento.

Na maioria das vezes, não estão disponíveis todos esses documentos e a elaboração do plano de monitoramento deve basear-se, principalmente, nos estudos do EIA-RIMA. Quando não existe nenhum desses documentos, é necessário um diagnóstico inicial que pode ser obtido por meio da elaboração de uma AIA ou Auditoria Ambiental (GALVES e AVO, 1998).

Esta análise preliminar das condições ambientais do empreendimento é a referência para implementação de um sistema de avaliação de desempenho ambiental a ser realizado com base no monitoramento do empreendimento.

### **2.2.5 Desempenho ambiental**

As normas NBR ISO 14.001:1996 (ABNT, 1996a) e NBR ISO 14.004:1996 (ABNT, 1996b) definem desempenho ambiental como os *“resultados mensuráveis da Gestão Ambiental, relativos ao controle de uma organização sobre seus aspectos ambientais, com base na sua política, seus objetivos e metas ambientais”*.

Segundo De Jorge (2001):

*“o desempenho ambiental é entendido como o resultado do tratamento dado pela empresa e suas atividades, operações e empreendimentos às questões ambientais”*.

Segundo o mesmo autor:

*“o conceito transcende às questões de conformidade regulamentar e legal, reflete a postura das empresas e pode ser entendido e utilizado das mais diversas formas, porém, todas elas tendo como centro de gravidade as relações da empresa e seus empreendimentos com o meio ambiente”*.

A análise de desempenho ambiental vem sendo aplicada por várias organizações. As normas NBR ISO 14.001:1996 e NBR ISO 14.004:1996 definem a avaliação de desempenho ambiental como *“o processo de medir, analisar, avaliar, relatar e comunicar um desempenho ambiental da organização diante de critérios estabelecidos pela sua gestão”*.

Para Bergamini (2000), relatar o desempenho ambiental de forma transparente pode melhorar a imagem e reduzir custos de uma organização, pois reportar publicamente as suas atividades ambientais passou a constituir uma atividade relevante e que interessa a diversos grupos: cliente, investidores, banqueiros, governo, etc.

Organizações de financiamento internacional, tais como o Banco Mundial - BIRD, Banco Interamericano de Desenvolvimento – BID, estabelecem diretrizes para a análise de

desempenho ambiental para a concessão de financiamentos (INTER-AMERICAN DEVELOPMENT BANK, 1996; WORLD BANK, 1996; WORLD BANK, 1997; WORLD BANK, 1999; WORLD BANK, 2000 e MIGLINO 1998).

A norma ISO 14.031:1999 (ISO, 1999) que define as diretrizes e procedimentos para o planejamento e a execução de uma avaliação de desempenho ambiental, e para a identificação e seleção de indicadores de desempenho ambiental, define avaliação de desempenho ambiental como sendo: “... *um processo interno e um instrumento de gestão desenhado para suprir o gerenciamento com informações confiáveis e verificáveis (auditáveis), em base contínua, para determinar se o desempenho ambiental de uma organização está atingindo os critérios estabelecidos pelo seu gerenciamento*”. A avaliação de desempenho ambiental é um “...*instrumento de gestão para suprir o gerenciamento com informações...*”, trata-se do monitoramento ambiental, e a “*base contínua para determinar o desempenho ambiental*” é a periodicidade e frequência da sua realização.

A Avaliação de Desempenho Ambiental - ADA, como proposto pela NBR ISO 14031, segue um modelo gerencial baseado: - Planejar (Plan); Fazer (Do); Checar (Check) e; Agir (Act); composto pela sigla PDCA.

O processo de avaliação de desempenho ambiental inclui fundamentalmente:

- A seleção de indicadores para a ADA ( esta seleção pode incluir tanto a escolha de indicadores existentes quanto o desenvolvimento de novos indicadores);
- A medição (ou seja, a coleta de dados relevantes para os indicadores selecionados);
- A análise e conversão de dados em informações, que descrevem o desempenho ambiental da organização;
- A avaliação das informações descrevendo o desempenho ambiental da organização, comparando com os critérios ambientais pré-estabelecidos;
- O relato e a comunicação das informações que descrevem o desempenho ambiental da organização; e
- A análise crítica e melhoria da avaliação de desempenho ambiental.

Segundo De Jorge (2001), uma organização sem um SGA implementado pode realizar a análise de desempenho ambiental, determinando os aspectos ambientais que devem ser tratados como significativos, por meio do estabelecimento de critérios para um desempenho ambiental e avaliando o seu desempenho ambiental em relação a estes critérios.

Esta pesquisa irá ao seu final apresentar os critérios que devem ser tratados para a definição de indicadores em relação aos processos do meio físico, para propiciar uma análise de desempenho ambiental.

Para a análise do desempenho ambiental devem ser definidos indicadores como ferramenta para acompanhar, medir avaliar e divulgar o desempenho ambiental de um empreendimento (DE JORGE, 2001). Para a EPA (*Environmental Protection Agency*) (1995), indicadores medem o avanço em direção a metas e objetivos.

Munn (1975), fala que *“indicadores são elementos que permitem traduzir, de modo simples e objetivo, a alteração no processo do meio físico e, assim, permitir a avaliação de sua influência na qualidade ambiental no contexto estudado. Para isso, os indicadores devem fornecer medidas de magnitude das situações atual ou futura da alteração, sendo traduzidos por parâmetros quantitativos ou qualitativos”*.

Berger (1996) diz que *“geoindicadores correspondem a medidas de magnitude e frequência dos processos geológicos e geomorfológicos superficiais que variam num período inferior a cem anos e se baseiam em análises, diagnósticos e procedimentos para o monitoramento do meio ambiente”*.

Os indicadores ambientais selecionados para uma análise de desempenho ambiental necessitam da definição de parâmetros e critérios para que possam ser utilizados como indicadores de desempenho ambiental.

Berger (1998) sugere que os geoindicadores devem responder a algumas questões para que possam ser mensurados, quais sejam: O que precisa ser monitorado? Em quais componentes do meio ambiente, abióticos, os gerentes devem ter mais atenção? Por que os impactos estão ocorrendo? Por que são significativos? O que se está fazendo a respeito disso? Qual a meta de controle para os processos? Como deve ser considerado na política ambiental?

Na mesma linha, o COGEOENVIRONMENT (1995) apresenta um método de descrição do geoindicador em doze passos, de forma que possa ser utilizado como parâmetro para análise de desempenho ambiental: nome, descrição, importância, causa (natural ou do empreendimento), ambiente em que está inserido, onde monitorar, qual a escala do monitoramento, método de medição, frequência da medida, análise da limitação dos dados, análise de tempo (passado e futuro) para o prognóstico, e valores de referência (quando ocorrerão mudanças drásticas no ambiente ou ameaças à saúde humana).

O DNIT tem um modelo de avaliação do desempenho ambiental apenas para a implantação de obras, baseado em indicadores de atendimento à legislação, e recuperação de passivos ambiental e social (DNIT, 2006).

Como exemplo, a ARTESP coordena a Avaliação de Desempenho Ambiental - ADA dos empreendimentos concessionados que ela agencia. A ADA é realizada por empresas de consultoria contratadas para a realização do monitoramento ambiental pelas concessionárias de rodovias. A ADA é realizada por meio da análise de indicadores de desempenho ambiental, elaborados com os cuidados para assegurar a verificabilidade, consistência, comparatividade e entendimento (ROMANINI, no prelo <sup>8</sup>).

Segundo Romanini op cit, o roteiro da ADA foi elaborado adotando-se as recomendações descritas na NBR ISO 14.031, e tomando-se por base os aspectos e procedimentos ambientais considerados relevantes e constantes dos Editais de Licitação de Concessão. Também, foram considerados os aspectos ambientais significativos das etapas de licenciamento, implantação, duplicação e operação dos referidos sistemas. Foram selecionados dez indicadores para a ADA, sendo que nove deles serão pontuados, e um fará parte do “algo mais”, ou seja, passível de uma bonificação extra, considerando todas as áreas avaliadas. Para cada indicador é definido um peso, ou um valor em pontos, e o não cumprimento das metas estabelecidas leva a subtração destes pontos por meio de prévia definição da pontuação relativa àquela falta.

Os indicadores pontuados são:

1. Inexistência de auto de infração;
2. Licenciamento Ambiental;
3. Elaboração e Implantação de Planos, Programas, Projetos e/ou Ações de Controle Ambiental para mitigação dos impactos ambientais na etapa de implantação de novas obras;
4. Elaboração e implantação de Planos, Programas, Projetos e/ou Ações para Monitoramento e Proteção Ambiental na etapa de conservação dos sistemas de transporte;

---

<sup>8</sup> Pedro Umberto Romanini. Publicação da Secretaria dos Transportes do Estado de São Paulo. No prelo.

5. Planos e Programas para Atendimento a Emergências e/ou Gerenciamento de Riscos, exigidos pelos órgãos de licenciamento e/ou necessários à mitigação de impactos gerados pelo sistema em operação;
6. Recuperação do Passivo Ambiental existente;
7. Ocorrência e correção de não conformidades ambientais;
8. Atropelamentos de animais domésticos e silvestres e focos de incêndio;
9. Destinação adequada do lixo, resíduos de poda, resíduos da construção civil e fresa de pavimento, óleos e graxas, aplicação de herbicidas, oriundos das etapas de implantação e conservação dos sistemas rodoviários.

O indicador passível de bonificação extra é:

1. Implantação de planos, programas, projetos, treinamentos de empregados, usuários, prestadores de serviço, etc. visando à proteção do meio ambiente (ex: Sistema de Gestão Ambiental, Educação Ambiental, Desenvolvimento Regional etc.).

De Jorge (2001), complementa afirmando que os indicadores de desempenho ambiental devem permitir identificar e acompanhar os aspectos ambientais significativos de um empreendimento, como a sua conformidade legal, as ocorrências e a evolução das alterações e degradações ambientais, os resultados das medidas preventivas e corretivas adotadas, as metas, os critérios, assim como os custos e gastos de tratamento e prevenção de impactos.

Bitar & Ortega (1998), apresentam os processos do meio físico mais comuns de ocorrerem em empreendimentos de obra, as feições correlatas a esses processos que podem ser consideradas como indicadores, e os parâmetros que possibilitam avaliar o desempenho ambiental.

Para o monitoramento dos processos morfodinâmicos nas vertentes da bacia hidrográfica do rio Pirajuçara em São Paulo - SP, Canil (2006) propõe a análise do transporte de sedimentos pelo córrego. Com relação às feições de erosão, é proposta pela autora a análise: com periodicidade anual, utilizando-se de imagens aéreas sobre a quantidade de feições formadas na bacia, ou seja, uma análise sobre a densidade de feições por quilômetro quadrado da bacia hidrográfica.

### 3 MÉTODO

A implantação de rodovias é tema de pesquisas, publicações e discussões de vários autores na Geologia de Engenharia. No Brasil, as pesquisas em Geologia de Engenharia tiveram início nas primeiras décadas do século passado, e foram incrementadas a partir da década de 50, principalmente por conta da necessidade de aplicação dos conhecimentos dessa ciência na construção de infra-estrutura de cidades, barragens para a geração de energia, dutovias, ferrovias, linhas de transmissão e em rodovias construídas no país. As obras rodoviárias mais desafiadoras e que impulsionaram os estudos em Geologia de Engenharia sobre o tema no Brasil no início da década de 50, são aquelas que atravessam a Serra do Mar na costa Sudeste do país, devido às dificuldades que o ambiente oferece.

Segundo Santos (1994), *“a Geologia de Engenharia tem a responsabilidade de diagnosticar e entender, com especial ênfase na dinâmica de seu desenvolvimento, os fenômenos geológico-geotécnicos que possam resultar da interação das solicitações globais, regionais ou locais (obras, serviços, atividades urbanas e rurais) ao meio físico geológico com os processos e características pré-existentes deste meio. Assim, diagnóstico, entendimento, dinâmica de desenvolvimento, previsão de comportamento, são missão desta ciência”*.

O estatuto da International Association of Engineering Geology - IAEG, diz que esta é a *“ciência voltada à investigação, ao estudo e à solução de problemas de engenharia e meio ambiente, resultantes da interação entre a Geologia e os trabalhos e atividades realizadas pelo homem, bem como à previsão e desenvolvimento de medidas preventivas ou corretivas de riscos/acidentes geológicos”* (IAEG, 1992).



Esta pesquisa realiza a investigação de dados para o conhecimento geológico-geotécnico do terreno, com o objetivo de prever o comportamento do meio físico frente a um tipo de intervenção humana, no caso, uma rodovia em operação, para a proposição de medidas adequadas de prevenção e correção dos processos de erosão de forma planejada e exequível, no âmbito de um Sistema de Gestão Ambiental – SGA e, portanto, ambas as definições acima são aceitas e aplicadas.

Santos (1994), afirma que o método científico mais adequado para a Geologia de Engenharia fundamenta-se no método das hipóteses progressivas, no qual o caminho para se chegar a um diagnóstico seguro é o contínuo processo de adoção de hipóteses e aferição destas. A formulação da hipótese se dá por meio de um raciocínio indutivo subsidiado por um esforço de observação e experimental (Quadro 3.1).

FASES	OBJETIVOS
1ª Fase: Hipótese	Localização e circunscrição preliminar do problema. Reunião dos dados disponíveis. Orientação de uma 1ª hipótese orientativa.
2ª Fase: Diagnóstico definitivo	Investigação orientada Aferição da hipótese anterior e formulação de novas hipóteses até a formulação da hipótese definitiva.
3ª Fase: Fechamento	Investigação e sistematização orientadas. Circunscrição e descrição final do fenômeno: - qualificação e quantificação, - dinâmica do desenvolvimento, - previsão de comportamento

**Quadro 3.1** – Método das hipóteses progressivas proposto por Santos (1994)

A elaboração da carta geotécnica direcionada à erosão para a aplicação em gestão ambiental da rodovia foi entendida como fundamental, pois no início do desenvolvimento da pesquisa foi constatado que não existiam dados do meio físico disponíveis para a área de estudo, suficientes ou em escala satisfatória, nos quais se pudesse embasar a aplicação do conhecimento geológico/geotécnico de forma adequada aos instrumentos de um SGA para uma rodovia. Com o objetivo de suprir esta deficiência, foram iniciados os estudos que resultaram na elaboração da carta geotécnica na escala 1:50.000.

Também, o início da pesquisa mostrou que nos órgãos rodoviários o entendimento sobre as responsabilidades e a dimensão que as questões ambientais podem assumir é ainda muito desconhecida ou incipiente e heterogênea. Para sanar a carência de dados, foi necessário elaborar um método de pesquisa, utilizando-se de critérios homogêneos e definidos para a coleta de dados, que posteriormente permitisse a comparação entre esses dados.

### 3.1 Etapas da Pesquisa

O método da pesquisa é apresentado em cinco etapas principais (Figura 3.1), que por vezes se sobrepõem no tempo de execução.

A primeira etapa chamada de “**Formulação do Problema**” refere-se à pesquisa bibliográfica, definição de critérios para a seleção da área de estudo, definição do processo a ser estudado, visita aos órgãos rodoviários por meio de visita à *internet* e entrevistas informais e levantamento preliminar de dados e de materiais disponíveis.

Na segunda etapa “**Planejamento da Coleta de Dados**” foram realizados os primeiros trabalhos investigativos, onde foi caracterizado regionalmente o meio físico da área de estudo, por meio da análise de documentos, em escala regional. Foi realizado o planejamento da pesquisa sobre SGA.

Na terceira etapa “**Estudos de Semi-detalle**” foram realizados os levantamentos de dados propriamente ditos, por meio da elaboração da carta geotécnica na escala de semi-detalle e, também, da aplicação de entrevistas e questionários direcionados à gestão ambiental nos órgãos rodoviários. Foram definidos os instrumentos de Gestão Ambiental a serem abordados pelos estudos.

A quarta etapa “**Estudos de Detalle**” caracterizou-se pelo aprofundamento dos estudos da carta geotécnica visando a subsidiar as ferramentas de gestão ambiental. Foram tabulados os dados das entrevistas e questionários e definidos os mecanismos de aplicação dos instrumentos de Gestão Ambiental.

Por último, na quinta etapa “**Conclusão**” foi concluída a pesquisa por meio da integração dos dados das cartas geotécnicas e do desenvolvimento dos instrumentos de gestão ambiental, visando a sua aplicação, além da organização da apresentação e elaboração do texto final da tese.

Serão detalhadas a seguir as etapas do estudo, o método para a elaboração da carta geotécnica e o método para a elaboração da pesquisa sobre gestão ambiental dos órgãos rodoviários.

Etapas da pesquisa	Meio Físico (levantamentos)	Resultados		Sistema de Gestão Ambiental (levantamentos)
		Meio Físico	SGA	
1ª Formulação do problema	- Pesquisa bibliográfica; e - Coleta de dados regionais e materiais disponíveis; e - Definição do processo do meio físico a ser estudado.	- Erosão como processo a ser estudado; e - Arquivo de materiais para o início da pesquisa.	- Análise dos trabalhos desenvolvidos sobre meio ambiente pelos órgãos rodoviários.	- Pesquisa bibliográfica; - Visita a órgãos rodoviários e realização de entrevistas informais; e - Definição dos critérios para a escolha da área de estudo.
		Definição da área de estudo.		
↓				
2ª Planejamento da coleta de dados	- Análise dos mapas regionais; - Planejamento da carta geotécnica; e - Preparação de materiais.	- Descrição do meio físico e da sua relação com os processos de erosão; - Base cartográfica na escala 1:50.000; - Aquisição de fotografias aéreas.	- Método da pesquisa sobre os SGAs dos órgãos rodoviários (entrevistas e questionário).	- Planejamento da pesquisa sobre os SGAs dos órgãos rodoviários.
		- Análise da resposta dos mapas regionais com relação aos instrumentos do SGA.		
↓				
3ª Estudos de semi-detalhe	- Interpretação das fotografias aéreas (unidades do terreno e feições de erosão); - Mapa de declividade dos terrenos; - Levantamento de campo (conferir unidades e levantamento dos perfis típicos); e - Preparação da base cartográfica na escala 1:10.000.	- Carta geotécnica na escala 1:50.000; - Mapa de feições de erosão; - Área piloto para os levantamentos de detalhe; e - Base cartográfica 1:10.000.	- Instrumentos de um SGA a serem desenvolvidos.	- Elaboração do questionário e do roteiro para as entrevistas; e - Realização das entrevistas e aplicação do questionário.
		- Desenvolvimento do instrumento de Caracterização de Impacto Ambiental; - Análise da resposta da carta geotécnica com relação aos instrumentos do SGA.		
↓				
4ª Estudos de detalhe	- Interpretação das fotografias aéreas (unidades do terreno); - Mapa de declividade dos terrenos; - Levantamento de campo (conferir unidades e levantamento dos perfis típicos); e - Comparação com o produto de semi-detalhe.	- Carta geotécnica na escala 1:10.000.	- Banco de dados dos passivos ambientais.	- Levantamento de campo (cadastro de passivos ambientais e levantamento do sistema de drenagem).
		- Auditoria Ambiental do sistema de drenagem; - Plano de Recuperação de Áreas Degradadas; - Plano de Monitoramento Ambiental; e - Análise da resposta dos produtos desta etapa com relação aos instrumentos do SGA.		
↓				
5ª Conclusão	- Análise geral dos resultados; - Obtenção das conclusões da pesquisa; e - Preparação do texto e da apresentação.			

Figura 3.1 - Fluxograma do método da pesquisa

### **3.1.1 Primeira etapa – Formulação do problema**

A Primeira Etapa da pesquisa resultou na definição da área de estudo. Para tanto, foi realizada ampla pesquisa bibliográfica, visita aos órgãos rodoviários e pesquisa e em *sites* da *internet*.

#### **3.1.1.1 Pesquisa bibliográfica**

Para o início dos estudos foram levantados os textos relacionados aos temas propostos, onde foram analisadas experiências similares ou que servissem como base para o desenvolvimento desta pesquisa (RUIZ, 1996). O trabalho inicial da pesquisa bibliográfica fundamentou as etapas subsequentes, nos seguintes assuntos: a escolha da área de estudo, definição do método aplicado na elaboração da carta geotécnica e a escolha do método aplicado para análise dos SGAs dos órgãos rodoviários.

#### **3.1.1.2 Definição da área de estudo**

Com base na pesquisa bibliográfica, nesta etapa foi preliminarmente definida a área de estudo por meio de levantamento de material existente e consulta aos órgãos rodoviários.

O critério adotado para a escolha da área de estudo foi:

- Região do Estado de São Paulo com alta a muito alta suscetibilidade aos processos erosivos;
- Região do Estado de São Paulo que apresentasse uma diversidade significativa de características geológicas, geomorfológicas, pedológicas e geotécnicas, em um trecho reduzido de uma rodovia;
- Rodovia que apresentasse algum comprometimento de seu funcionamento em razão da ocorrência de processos de erosão; e
- Rodovia pública sob responsabilidade de um órgão rodoviário estadual ou federal e que estivesse na lista de prioridades para ser concedida à iniciativa privada.

#### **3.1.1.3 Visita aos órgãos rodoviários**

A definição do método da pesquisa sobre os SGAs teve início nos primeiros contatos com as organizações rodoviárias e conhecimento do sistema de funcionamento das suas áreas ambientais, realizados por meio de entrevistas informais e não estruturadas (BERNARD

1988), além da pesquisa pela *internet*. Nesta etapa, a coleta de dados mostrou-se insuficiente e muito heterogênea, sendo necessária a estruturação de um método para a coleta de dados.

### **3.1.2 Segunda etapa – Planejamento da pesquisa**

Nesta etapa da pesquisa teve início a coleta de dados regionais referentes ao meio físico, direcionada à área de estudo pré-definida, e também, o início dos levantamentos sobre SGA nos órgãos rodoviários, além da continuidade da pesquisa bibliográfica. Esta etapa foi fundamental para a definição do método elaboração da pesquisa, tanto para a carta geotécnica quanto para o SGA, pois, por meio destes levantamentos, foi possível identificar as deficiências de informação e planejar as etapas futuras com a coleta de dados mais representativos.

O produto principal desta etapa é a descrição dos tipos de processos de erosão que incidem sobre a área de estudo e a análise de sua relação com o meio físico. Foram descritas as características regionais das principais unidades geológicas, geomorfológicas e pedológicas, e realizada uma relação com o comportamento geotécnico dos terrenos.

Após o entendimento do meio físico presente na área de estudo e da identificação do seu comportamento, e com base no levantamento bibliográfico sobre SGAs, foi analisada a aplicação das informações dos mapas regionais em instrumentos de um SGA previamente reconhecidos.

#### **3.1.2.1 Análise de cartas geotécnicas na escala regional**

A elaboração da carta geotécnica adotou para o início dos trabalhos o método do detalhamento progressivo (CERRI et al., 1996 e ZAINE, 2000), onde o ponto de partida é a análise regional em grandes escalas.

Zaine (2000), para a área urbana de Rio Claro – SP, apresenta produtos em três etapas: Geral (escala 1:25.000), Semi-detache (escala 1:10.000) e Detalhe (escala 1:5.000 ou maior). Com base na proposta de ZAINE (op cit.), adaptada para um empreendimento rodoviário, serão adotadas as seguintes escalas para a realização dos estudos: Estudos regionais (escala 1:500.000 a 1.000.000), Semi-detache (escala 1:50.000) e Detalhe (escala 1:10.000).

Também, com base em Freitas (2000), que apresenta o método do IPT para a elaboração de cartas geotécnicas, foi realizado nesta etapa o planejamento da carta a ser elaborada, por meio da definição dos objetivos, avaliação do tipo de carta geotécnica a ser

elaborada, escala da apresentação, análise de dados disponíveis e estudo sobre a forma de apresentação.

Com base nos processos do meio físico, reconhecidos nos estudos regionais (PRANDINI et al., 1995; DINIZ, 1998; ZUQUETTE & NAKAZAWA, 1998 e FREITAS, 2000) foi definido que a carta a ser elaborada na escala de semi-detalle (1:50.000) seria uma Carta de Suscetibilidade à Erosão com o objetivo de aplicação na Gestão Ambiental.

Foi também analisada a perspectiva de elaboração de um estudo de maior detalhe (1:10.000), em área piloto que viesse a apresentar uma concentração maior de problemas, dependendo das respostas obtidas pela carta de semi-detalle (1:50.000), para a comparação dos produtos.

Para os estudos a serem realizados na escala 1:50.000 adotou-se o seguinte critério: para a definição da área a ser analisada, uma equidistância de 1km para cada um dos lados da rodovia, traçados por meio de um *buffer* no software *ArcGis*, cujos detalhes foram suavizados manualmente.

Nesta etapa, teve início a preparação do material cartográfico para o desenvolvimento da pesquisa: base cartográfica nas escalas 1:50.000 (folhas: Anhembi SF-22-Z-B-VI-4 e Botucatu SF-22-ZB-VI-3) e 1:10.000 (SF-22-ZB-VI-3-SEC), fotografias aéreas em formato *raster* (2006 escala 1:30.000, em meio digital que pode ser ampliada até a escala 1:3.000 com boa qualidade de resolução), mapas temáticos (pesquisas específicas para os ambientes em estudo, mapa geológico, cartas geotécnicas, cartas de risco, etc., em diferentes escalas).

Para a elaboração da base cartográfica foi utilizado o sistema de informações geográficas – SIG *ArcGIS*. Foi criado um banco de dados geográfico no formato *Geodatabase*, com as seguintes feições espaciais:

- Hidrografia;
- Curvas de Nível;
- Pontos Cotados;
- Limite da área de estudo;
- Logradouros.

As feições espaciais foram vetorizadas através do aplicativo *ArcMap-ArcGIS*, utilizando a extensão *ArcScan* (módulo de vetorização automática), tendo como fonte as

cartas topográficas do IBGE e do IGC que compõem a área de estudo (FERNANDES no prelo).

### **3.1.2.2 Pesquisa sobre os Sistemas de Gestão Ambiental – SGAs nos órgãos rodoviários**

Nesta etapa foi definido um método de análise dos SGAs dos órgãos rodoviários para as rodovias em operação, após uma pesquisa sobre a formatação e o método da coleta de dados.

As observações anteriores sugeriram que era necessária a realização de uma pesquisa, por meio da inserção nas áreas ambientais dos órgãos rodoviários para o entendimento das suas realidades e das políticas ambientais aplicadas. Também, ficou evidente a necessidade da estruturação da coleta de dados de forma organizada para possibilitar o tratamento futuro. A identificação de que as áreas ambientais dos órgãos possuem suas equipes técnicas bastante reduzidas frente as suas responsabilidades e funções, e que a maior parte das atividades é terceirizada para empresas de consultoria, exigiu que a pesquisa fosse realizada em dois ambientes distintos: áreas ambientais dos órgãos e nas empresas de consultoria.

Segundo Costa (2001), uma entrevista é uma forma de coleta que consiste em fazer interagir verbalmente, cara a cara, pesquisador e interlocutor. A entrevista pode ser definida como o recurso de captação de informações em que a interação entre pesquisador e interlocutor é máxima. É um instrumento por excelência da investigação. É muitas vezes superior a outros sistemas, de obtenção de dados (BEST, 1972 apud MARCONI & LAKATOS, 1999).

O planejamento da entrevista foi realizado de forma que existisse uma continuidade de situações, permitindo que o pesquisador pudesse exercer certo controle sobre as respostas dos informantes (BERNARD, 1988). Segundo a proposta do mesmo autor, foi elaborado um roteiro para ser aplicado em uma entrevista semi-estruturada.

A formatação da coleta de dados com base no método proposto possibilitou a identificação de um quadro mais realista da situação da área ambiental dos órgãos, e também, proporcionaram a aproximação da ciência com a prática (RAMPAZZO, 2002).

Para a elaboração dos questionários e entrevistas, foram definidos alguns critérios:

- Entrevista presencial;

- Entrevista semi-estruturada com base em roteiro de questões a ser aplicada aos responsáveis dos órgãos rodoviários, para conhecimento da infra-estrutura do órgão;
- Questões da entrevista elaboradas a partir das observações anteriores;
- Questões abrangentes, que poderiam partir para um maior detalhe ao longo da entrevista;
- Questões iniciais amistosas;
- Questões intermediárias sobre o conteúdo técnico dos trabalhos;
- Questionamentos finais em busca de entendimento sobre a postura e iniciativa dos órgãos;
- Questões direcionadas ao entendimento do funcionamento da área ambiental do órgão.
- Ressaltar questões sobre a existência de um SGA e que permitissem analisar os conceitos do entrevistado;
- Questionário para os técnicos a ser encaminhado por correio eletrônico;
- Realizar contato por telefone para comunicar o encaminhamento e cobrar as respostas;
- Questões diretas, com o objetivo de evitar interpretações; e
- Questões que tivessem uma seqüência lógica de raciocínio.

### **3.1.3 Terceira etapa – Estudos de semi-detalle**

A coleta sistemática de dados na área de estudo teve início nesta etapa da pesquisa. Foi elaborada a carta geotécnica de suscetibilidade à erosão na escala de semi-detalle (1:50.000) e realizada a análise quanto à resposta que esta carta apresenta em relação aos instrumentos do SGA. Também, foram elaboradas e aplicadas as entrevistas semi-estruturadas nos órgãos rodoviários e os questionários aos técnicos especialistas, que em conjunto com a pesquisa bibliográfica, definiram os instrumentos do SGA a serem desenvolvidos. Foi desenvolvido o instrumento de avaliação de impacto ambiental.



### 3.1.3.1 Elaboração da carta geotécnica de semi-detulhe

As cartas geotécnicas no Brasil são raras, não estão publicadas ou organizadas em um órgão específico, e a maioria das cartas disponíveis abrange apenas áreas urbanas. Para a utilização em empreendimentos fora das áreas urbanas, as cartas existentes e disponíveis possuem, em geral, grandes escalas ou regionais (1:100.000 a 1:1.000.000), o que dificulta a sua aplicação. Nas escalas regionais existem cartas temáticas (geologia, geomorfologia e pedologia), no entanto, são raras as cartas geotécnicas. Estas cartas apresentam apenas uma caracterização geral do terreno, e os limites entre as unidades são imprecisos para a aplicação.

A imensa maioria dos empreendimentos lineares no Brasil não possui estudos do meio físico que estejam organizados e disponíveis (sondagens, mapeamentos, instrumentos de licenciamento ambiental RAP, EIA/RIMA, etc.), apesar de ser exigido nas normas técnicas dos órgãos empreendedores (DER/SP, 2005 e DNER 1995). Desta forma, não é possível consultar e acessar esses dados para a utilização fora do contexto de um projeto. Por conta da falta de dados com o detalhe requerido para a aplicação é que foi proposta a elaboração da carta geotécnica.

Segundo Vedovello (2000), para a aplicação em um SGA, a carta geotécnica tem de cumprir três objetivos básicos:

- 1º Expressar a fragilidade dos terrenos frente aos processos do meio físico;
- 2º Representar cartograficamente a legislação ambiental vigente; e
- 3º Diagnosticar as condições ambientais atuais do empreendimento.

Para expressar a suscetibilidade natural dos terrenos, uma carta geotécnica pode ser elaborada por diferentes métodos já consagrados. Porém, o método aqui proposto é oriundo da integração de vários métodos existentes. Foram utilizados alguns conceitos, procedimentos e etapas de diferentes métodos, de forma a possibilitar a elaboração da carta geotécnica que disponibilizasse respostas à aplicação.

As informações obtidas na 2ª etapa, por meio do estudo de produtos cartográficos em escala regional, mostraram-se insuficientes para o desenvolvimento dos instrumentos do SGA. No entanto, foram importantes para a caracterização dos terrenos no trecho da rodovia, reconhecimento dos processos do meio físico e como subsídio para a descrição preliminar das unidades homogêneas do terreno.

A carta geotécnica (Carta de Suscetibilidade à Erosão) na escala 1:50.000 foi elaborada por meio da interpretação de fotografias aéreas na escala 1:30.000 (Base Aerofotogrametria 2005), análise da declividade dos terrenos e descrição dos perfis geológicos/geotécnicos das unidades de terreno definidas. Para a interpretação das fotografias aéreas, utilizou-se um estereoscópio de espelho com lente de aumento de três vezes.

Por meio da interpretação de fotografias aéreas foram individualizadas as unidades com base nas características geomorfológicas (formas do relevo). Foram analisadas a forma e posição topográfica, inclinação e o comprimento das vertentes, forma dos topos e divisores de água, frequência e organização dos canais de drenagem e amplitude de relevo (FLORENZANO, 2008), além de características secundárias: geológica, pedológica e vegetacional (GARCIA, 2002). Estas feições foram obtidas por meio da interpretação das diferenças de cor, textura, rugosidade, rupturas no relevo (positivas e negativas), entre outras técnicas de interpretação.

A compartimentação do terreno foi realizada com base no conceito explicitado por Ross (1995) e Vedovello (2000), que propõem que a unidade do relevo é a interação entre as áreas do conhecimento: geologia, geomorfologia, pedologia, clima, etc., que interagem por meio de uma associação evolutiva, determinando as unidades fisiográficas do terreno. Para Vedovello (2000), as unidades fisiográficas do terreno são chamadas de Unidades Básicas de Compartimentação – UBCs, mas serão chamadas nesta pesquisa de unidades homogêneas do terreno, ou simplesmente unidades do terreno.

Com as unidades do terreno interpretadas e lançadas na base cartográfica (escala 1:50.000), foi elaborado um mapa de declividade dos terrenos utilizando-se do software *Arcgis*, com os intervalos variando de 0-3%, 3-10%, 10-20% e > 20%. Os intervalos foram definidos com base nos tipos de solo identificados na caracterização regional, onde cada intervalo de declividade do terreno prevê o predomínio de um determinado tipo de solo, e que reflete um comportamento diferente em relação aos processos de erosão (SALOMÃO, 1994; RIDENTE, 2000; AGENA, 2005).

A carta de declividade foi gerada a partir da ferramenta *Topo to Raster* (interpolador para gerar modelo numérico do terreno) da extensão *Spatial Analyst* (módulo de análise espacial avançada do software *ArcGIS* versão 9.2), com um *grid* de 20 m, foi obtido o *MNT* (Modelo Numérico do Terreno) da área de estudo num "*buffer*" de 1 km para cada lado da rodovia, na escala 1:50.000, utilizando-se as seguintes feições espaciais:

- Curvas de Nível;
- Pontos Cotados;
- Drenagens;
- Limite da área de estudo (*Buffer*).

Do *MNT* foram extraídos declividade, sombreamento do terreno e curvatura das vertentes, que auxiliaram na determinação das unidades homogêneas do terreno (FERNANDES, no prelo).

Zuquette (1987) recomenda que para a elaboração de uma carta geotécnica na escala 1:50.000 em áreas sedimentares, seja realizado ao menos um ponto de amostragem e/ou observação a cada quilômetro quadrado. No entanto, Zuquette e Gandolfi (2004) comentam que para a amostragem de confirmação, ou seja, a amostragem que visa a confirmar um levantamento previamente realizado (cartas anteriores, mapa de declividade, interpretação de unidades do terreno, etc), a densidade de pontos depende da amplitude dos resultados. Neste caso, para um mapeamento qualitativo e que define previamente as unidades do terreno, a exigência de pontos de verificação decai consideravelmente.

Com a definição prévia das unidades do terreno e a caracterização preliminar de suas características físicas, proveniente da análise regional, foi realizada a etapa de trabalhos de campo. Os levantamentos de campo tiveram como objetivo conferir e definir os traçados das unidades e descrever o perfil geológico-geotécnico típico de cada uma delas.

Foi planejada a realização de um ponto de descrição a cada nova unidade de terreno que fosse atravessada pela rodovia.

Os limites das unidades foram ajustados em campo por meio da comparação entre a interpretação das fotografias aéreas, do mapa de declividade e da realidade visualizada in loco.

Foram caracterizados os perfis geológico-geotécnicos com o objetivo de descrever os tipos de solo e rocha para cada uma das unidades do terreno, dando assim uma idéia de 3ª dimensão para a carta geotécnica (SOUZA, 1992). O fundamento desta análise é a tentativa de interpretar de forma conjunta as unidades do terreno, quanto à geomorfologia, geologia, pedologia e geotecnia.

Os perfis geológico-geotécnicos foram descritos em taludes da rodovia ou em taludes de estradas menores adjacentes que encontravam-se desprotegidos. Foi elaborada uma ficha

de campo para o registro do local e descrição dos perfis em cada um dos pontos visitados. No primeiro momento foi analisada a gênese do solo superficial (solos residuais e transportados, etc.), depois caracterizado o perfil como um todo. Foram descritos o solo superficial orgânico, os horizontes pedológicos, a relação com a rocha de origem e o nível freático. Os parâmetros utilizados para a descrição foram textura, cor e espessura, grau de alteração, etc. (SOUZA, 1992).

Para a definição das unidades de suscetibilidade à erosão da carta geotécnica, foram interpretadas as feições de erosão. As feições foram interpretadas por meio da utilização das mesmas fotografias para o levantamento das unidades do terreno, utilizando-se o estereoscópio, porém, também foram interpretadas na tela do computador com aumento que chegou à escala 1:3.500. Foram levantados os processos de erosão do tipo ravinas e boçorocas e processos correlatos (concentração de sulcos, assoreamentos, escorregamentos, etc.).

Com o resultado destas interpretações, foram realizados estudos sobre os tipos de feições predominantes e a concentração de feições por quilômetro quadrado das unidades (densidade) e número de feições por quilômetro de rodovia. A densidade das feições de erosão colaborou na definição da suscetibilidade à erosão. Também, algumas destas feições foram checadas em campo.

### **3.1.3.2 Sistemas de gestão ambiental – entrevistas e questionários**

Definido o método e com base nos critérios estabelecidos, foram elaboradas as questões baseadas nas técnicas apresentadas por Mackay (2001), que diferencia a entrevista do questionário.

Para o levantamento de dados por meio de um questionamento, numa comparação entre métodos, o trabalho de Cervo & Bervian (2002) diz que o questionário possibilita medir com melhor exatidão o que se deseja em relação a uma entrevista. No entanto, a entrevista foi considerada essencial, pois um dos critérios estabelecidos era de que seria necessário ir ao órgão para conhecer a infra-estrutura disponível.

Para os questionários que foram encaminhados aos técnicos de empresas de consultoria, com base numa forma de questionamento ativo, foram elaboradas perguntas fechadas objetivando a obtenção de respostas precisas, curtas e rápidas, levando os informantes a raciocinarem, porém não despendendo um longo tempo Mackay (2001).

Com foco no objetivo principal desta pesquisa, foi elaborada uma série de questões que possibilitasse avaliar o conhecimento, a percepção e o trabalho que está sendo desenvolvido pelos técnicos. Assim, foram propostas questões que procuravam identificar nos especialistas:

- A percepção sobre a importância da erosão como fator impactante do meio;
- Os métodos de gerenciamento ambiental (monitoramento) que estão sendo utilizados;
- e
- Propostas de como melhorar a atuação no controle da erosão.

O questionário foi constituído por uma série ordenada de perguntas, que deveriam ser respondidas por escrito e sem a presença do entrevistador (MARCONI & LAKATOS, 1999). Conforme sugerido pelos autores, o pesquisador encaminhou o questionário ao informante por correio eletrônico e depois de preenchido, o pesquisado o devolveu do mesmo modo (Apêndice 02). Além do encaminhamento por meio eletrônico, foi realizado um contato telefônico para instruções e esclarecimentos. O contato telefônico procurou estimular os entrevistados no sentido de mostrar a importância da sua participação na pesquisa.

A escolha dos técnicos para o encaminhamento do questionário foi aleatória. Os órgãos entrevistados indicaram algumas empresas de consultoria e foi realizada divulgação verbal da pesquisa para técnicos conhecidos do pesquisador.

Foi realizado um teste preliminar do método com o objetivo de elevar a qualidade do dado, obtendo maior confiabilidade no tratamento dos dados obtidos e na análise (RAMPAZZO, 2002).

O teste com o questionário foi realizado com um técnico de empresa de consultoria que tem experiência de mais de 10 anos de atuação na área ambiental de rodovias. Foi proposta uma maior objetividade nas questões para evitar interpretações.

A entrevista com os órgãos ambientais foi testada preliminarmente com um técnico terceirizado de um órgão rodoviário, que prestava serviço na área ambiental como mão de obra contratada, com base na sugestão de Rampazzo (2002) para a qualificação da coleta de dados. Este técnico, com grande vivência no órgão rodoviário (4 anos de dedicação e 8 anos de experiência com meio ambiente rodoviário), propôs pequenas alterações no roteiro, no sentido de colocá-lo em uma seqüência mais lógica.

Após a realização dos testes, foram formulados os convites de participação aos órgãos rodoviários e feito um contato telefônico. Os nomes dos responsáveis pelas áreas ambientais e os telefones foram obtidos junto à ABDER (Associação Brasileira dos Departamentos de Estradas de Rodagem). Perante os órgãos que retornaram ao convite, foram realizadas as entrevistas na forma presencial. As entrevistas foram gravadas, e as respostas mais diretas foram sendo anotadas no roteiro de questões.

O roteiro da entrevista foi planejado de forma que fosse mantido um clima de informalidade entre o pesquisador e o entrevistado. Foi elaborada uma lista escrita de vinte e uma questões e tópicos que teriam de ser cobertos em uma ordem lógica (Apêndice 01). O pesquisador utilizou o roteiro apenas como diretriz e de forma discreta, no entanto, funcionou como um conjunto de instruções a serem seguidas para a obtenção das informações (BERNARD, 1988).

Com base em Mackay (2001), algumas técnicas de entrevista foram utilizadas, tais como:

- Estabelecimento de contato inicial amigável e informal, porém demonstrando a importância da participação do entrevistado na pesquisa;
- Demonstração de interesse e conhecimento;
- Criar uma relação de confiança com o entrevistado;
- Buscar informações complementares;
- Estimular o entrevistado por meio de questionamentos reflexivos; e
- Saber encerrar o assunto e iniciar um novo.

A realização das entrevistas, os contatos realizados para a aplicação dos questionários, o levantamento de dados para a elaboração da carta geotécnica e a pesquisa bibliográfica, resultaram na definição dos instrumentos de SGA a serem desenvolvidos pela pesquisa.

Foi definido que a partir da carta geotécnica e dos produtos das etapas de sua elaboração, seria desenvolvido o instrumento de avaliação de impacto ambiental.

O instrumento de caracterização de impacto ambiental foi desenvolvido por meio da observação dos impactos ambientais já existentes na rodovia (retro-análise) e análise do seu alcance, da sua gravidade e importância, e do contexto do meio físico (unidades do terreno).

A caracterização de impacto ambiental foi desenvolvida com base na análise da suscetibilidade dos terrenos, na concentração de feições de erosão por unidade e na análise da dinâmica dos processos existentes, ativos e que estão associados ao funcionamento da rodovia e que foram cadastrados como passivos ambientais. A caracterização é elaborada especificamente para as proximidades da rodovia (200m de cada lado), porém analisa-se também o contexto regional do empreendimento.

Utilizou-se do método *ad-hoc*, pois a análise é produto da interpretação de um único pesquisador, de uma área específica do conhecimento (FOGLIATTI, FILIPO e GOUDARD, 2004). Neste caso, o indicador ambiental a ser analisado é a erosão. Conforme definido por Munn (1975) e Moreira (1992), a erosão pode ser considerado como um parâmetro de medida da magnitude do impacto ambiental e também como medida das condições ambientais.

Não será apresentada apenas a análise de impacto ambiental como se realiza nos processos formais de licenciamento ambiental, mas será apresentado o raciocínio que fez chegar a essa análise, por meio da descrição dos processos que ocorrem em cada uma das unidades de terreno.

A análise de impacto é geralmente realizada com base na sua natureza, alcance (área de influência), fase de ocorrência, forma de ocorrência, prazo de ocorrência, duração, reversibilidade e magnitude, ou seja: valor, ordem, espaço, tempo, dinâmica e plástica (SILVA, 1994).

A análise da magnitude e importância constitui-se no aspecto principal dos impactos ambientais, uma vez que informam sobre o grau de significância dos mesmos. A magnitude pode ser considerada como a grandeza de um impacto em termos absolutos, podendo ser definida como a medida de alteração de um atributo ambiental, em termos quantitativos ou qualitativos (SPADOTTO, 2002).

Para a análise de magnitude da erosão utilizou-se o conceito de intensidade do impacto (SANCHEZ, 2006). Ou seja, onde existe uma alta suscetibilidade à erosão a magnitude é considerada alta. Quando a suscetibilidade é média, a magnitude é média, e assim também para a baixa. Entende-se que a intensidade do impacto da erosão é proporcional à suscetibilidade natural dos terrenos.

A importância do impacto pode ser considerada como a ponderação do grau de significância ou de expressão de um impacto em relação ao fator ambiental afetado, ou a outros impactos, ou a outros aspectos do meio em que se insere, como por exemplo, as

condições naturais (SANCHEZ, 2006). A análise de importância do impacto utilizou os conceitos da Resolução CONAMA 1/86, com relação à expressão, origem, duração, alcance, reversibilidade e cumulatividade.

A importância foi considerada alta quando:

- A suscetibilidade do terreno é alta e conseqüentemente a magnitude também,
- Tem a possibilidade de interferir diretamente no funcionamento da rodovia,
- Existe a repetição dos processos de erosão (concentração de feições),
- O recurso hídrico de jusante já se encontra impactado pelo assoreamento, e
- Quando o recurso hídrico a jusante (bacia hidrográfica) é utilizado para abastecimento público.

Foi considerada média quando:

- A suscetibilidade do terreno é média e conseqüentemente a magnitude também,
- A possibilidade de interferir com o funcionamento da rodovia é indireto,
- A incidência de processos de erosão não é tão expressiva quanto a anterior,
- O recurso hídrico a jusante encontra-se em condições ambientais razoáveis em relação ao assoreamento, e
- Esse recurso hídrico é utilizado apenas para abastecimento de propriedades rurais.

E foi considerado baixo quando:

- A suscetibilidade do terreno é baixa e conseqüentemente a magnitude também,
- Não há possibilidade de interferir com o funcionamento da rodovia,
- A incidência de processos de erosão é pequena,
- O recurso hídrico a jusante encontra-se em boas condições ambientais, e
- Esse recurso hídrico não é utilizado para abastecimento.

A análise do tempo de duração do impacto ambiental considerou duas situações apenas: longa e curta duração. A curta duração refere-se aos impactos diretos na rodovia e que podem ser recuperados rapidamente por meio de limpeza, manutenção e medidas de



engenharia mais simples. Os impactos de longa duração estão relacionados aos processos de erosão mais complexos, que demandam uma obra de engenharia especial para a solução do problema, e que o assoreamento chega a comprometer os recursos hídricos.

O alcance do impacto foi analisado com o seguinte critério: Local - quando afeta apenas a rodovia e sua faixa de domínio; Regional - quando o impacto ambiental proveniente da erosão atinge os recursos hídricos gerando assoreamento dos mesmos.

A classificação quanto à reversibilidade dos impactos ambientais teve como base os seguintes critérios: Reversível - quando a execução de uma obra de engenharia ou outro tipo de intervenção tem condições de recuperar o dano promovido. No caso da erosão, para que o impacto seja reversível, as medidas precisam ser tomadas imediatamente após a deflagração do processo de erosão; Parcialmente reversível - quando a obra de engenharia ou outra forma de intervenção proporciona apenas a melhoria das condições do local sem recuperar o dano ocasionado por completo. Para a erosão, pode ser considerado parcialmente reversível quando é possível recuperar a área da erosão, porém, o assoreamento resultante apresenta grandes dimensões e não pode ser recuperado. É irreversível quando obras de engenharia ou algum outro tipo de intervenção não é possível de ser realizada, como por exemplo, no caso de um processo de erosão de grande porte, que cause um desvio no traçado da rodovia ou um assoreamento de grandes dimensões.

Para a realização na próxima etapa, foi programado o desenvolvimento dos instrumentos de auditoria ambiental, recuperação de áreas degradadas e monitoramento ambiental.

### **3.1.4 Quarta etapa – Estudos de detalhe**

Na quarta etapa foram realizados os estudos de maior detalhe. Foi elaborada a carta geotécnica na escala 1:10.000, cadastrados os passivos ambientais, realizada a auditoria ambiental, elaborado o plano de recuperação de áreas degradadas e elaborado o plano de monitoramento ambiental.

#### **3.1.4.1 Elaboração da carta geotécnica de detalhe**

Nesta etapa, foram realizados os mesmos procedimentos utilizados para a elaboração da carta geotécnica na escala 1:50.000, quais sejam:

- Modelo numérico do terreno – MNT (com um *grid* de 1 m);

- Mapa de declividade;
- Compartimentação do terreno por meio da utilização de imagens aéreas; e
- Levantamento de campo para conferir os perfis típicos, as unidades do terreno, além de outras atividades específicas para esta etapa, como caracterização dos passivos ambientais e auditoria para a caracterização da infra-estrutura atual (drenagem).

A interpretação das fotografias aéreas para compartimentação em unidades do terreno utilizou o mesmo método da elaboração da carta na escala 1:50.000 e utilizou-se do mesmo material (estereoscópio de espelho e fotografias aéreas na escala 1:30.000).

Para os levantamentos da declividade dos terrenos em detalhe adotou-se o mesmo método da escala de semi-detalhe, com o objetivo de relacionar a declividade do terreno com o tipo de solo local e com a gênese dos processos erosivos. Os intervalos utilizados foram redefinidos, por tratar-se de uma análise de maior detalhe e por identificar na interpretação das fotografias aéreas a possibilidade da existência de uma nova unidade geotécnica, assim sendo: 0% - 3%, 3% - 9 %, 9% - 15%, 15% - 45% e > 45% .

Foi realizada nova etapa de campo para caracterização dos perfis típicos e conferência das unidades geotécnicas, com o objetivo de concluir a carta geotécnica.

Neste levantamento de campo, também foi realizado o cadastro de passivos ambientais, onde foi analisada a influência dos processos de erosão com a integridade da rodovia, com as condições ambientais, eventualmente com a saúde da população que reside ao redor, ou com a saúde dos usuários.

Ainda, foi realizada a auditoria ambiental sobre as condições do sistema de drenagem de um trecho piloto da rodovia. Os métodos do cadastro de passivos ambientais e da auditoria ambiental serão apresentados no item a seguir.

#### **3.1.4.2 Gestão ambiental – Realização da auditoria ambiental**

A auditoria ambiental é um instrumento de gestão que permite uma avaliação das condições ambientais do empreendimento com relação à legislação, normas, regulamentos e técnicas relativas ao conjunto de exigências ou requisitos ambientais que, no entanto, não são tema desta pesquisa.

Os levantamentos realizados pela auditoria ambiental nesta pesquisa auxiliaram na identificação de situações potenciais que possam resultar em problemas ambientais e na avaliação do empreendimento, levando em conta os passivos ambientais existentes.

A auditoria ambiental realizada constituiu-se na análise da situação ambiental atual da rodovia em relação à existência de impactos ambientais e a possibilidade de ocorrência de novos impactos relacionados à erosão. Para tanto, nesta pesquisa foram registradas as áreas degradadas por erosão, bem como identificadas as condições da infra-estrutura de drenagem existente.

Com base no levantamento das feições de erosão realizado por meio da interpretação das fotografias aéreas na etapa anterior, foi planejado o cadastro dos passivos ambientais.

O levantamento dos passivos ambientais seguiu a proposta elaborada pelo DER/SP (2006a e 2006b). O método do DER/SP apresenta um formulário de cadastro na forma de uma lista de checagem, onde são descritos a localização, o tipo de degradação, suas condicionantes e é feita uma análise da criticidade da situação, chamado de “relevância do passivo ambiental”, por meio de uma equação definida sobre valores a serem adotados, por meio da interpretação de um técnico especialista.

Primeiro é analisada a interferência com o corpo da rodovia, com o usuário ou com o lindeiro. O especialista classifica então o risco como: oferece risco, poderá oferecer risco ou não oferece risco. Alguns agravantes são considerados, quais sejam: processo encontra-se a montante de captação pública, encontra-se em solo arenoso, índice pluviométrico elevado (> 2.000mm/ano) e encontra-se em unidade de conservação ambiental. Por último, são considerados os atenuantes, como: presença de cobertura vegetal e não há concentração de água.

O índice de Relevância do Passivo Ambiental define-se pela expressão:

$RPA = I + R + A - F$ , onde:

I = Interferência (impacto decorrente do passivo)

R = Risco

A<sub>g</sub> = Agravante

F = Atenuante

Para cálculo do RPA são atribuídos valores a cada parcela que compõem o índice, os quais são cumulativos no caso do passivo apresentar mais de uma característica, conforme indicado a seguir:

**Interferência (I)**

<b>Impacto (IMP)</b>	<b>Valor</b>	<b>Peso (E)</b>
1 – Rodovia	5	0,3
2 – Usuário	3	
3 – Lindeiro	2	

$$I = \sum_{j=1}^n \text{IMP}_j \times E$$

**Grau de Risco (GR)**

<b>Grau de Risco (GR)</b>	<b>Valor</b>	<b>Peso (E)</b>
1 – Oferece risco	6	0,4
2 – Pode oferecer risco c/ a evolução	4	
3 – Não oferece risco	0	

$$R = \sum_{j=1}^n \text{GR}_j \times E$$

**Agravantes (Ag)**

<b>Aspectos Ambientais (AA)</b>	<b>Valor</b>	<b>Peso (E)</b>
1 – Processo encontra-se a montante de ponto de captação de abastecimento público	4	0,2
2 – Processo encontra-se em solo arenoso	3	
3 – Índice Pluviométrico > 2000 mm/ano	2	
4 – Encontra-se em Unidade de Conservação - UC	1	

$$Ag = \sum_{j=1}^n \text{AA}_j \times E$$

**Atenuantes (F)**

<b>Características Ambientais (CA)</b>	<b>Valor</b>	<b>Peso (E)</b>
1 – Presença de cobertura vegetal	5	0,1
2 – Não há concentração de água	5	
3 – Sem atenuantes	0	

$$F = \sum_{j=1}^n \text{CA}_j \times E$$

O resultado do RPA é um critério para a priorização de intervenções e recuperação dessas áreas. Para a organização dos dados do cadastro dos passivos ambientais foi elaborado um banco de dados com o *software Excel*.

Este índice não possui intervalos de valores que definam a criticidade do passivo ambiental, porém, no seu método de cálculo são utilizados parâmetros de uma análise de risco com relação à rodovia, ao usuário e à população que vive ao seu redor.

Para a definição de critérios para o monitoramento ambiental, adotou-se que antes que fossem realizadas obras de recuperação destas áreas, o monitoramento deveria priorizar as áreas que ofereçam algum tipo de risco à rodovia, usuários ou moradores dos seus arredores, e que não possuem atenuantes.

A auditoria ambiental foi realizada somente sobre o sistema de drenagem, por tratar-se de um estudo piloto e demonstração do método. O sistema de drenagem é a principal causa de formação da erosão desta rodovia. O traçado da rodovia desenvolve-se principalmente no topo das colinas, e toda a água pluvial é lançada nas vertentes e talvegues à jusante da mesma formando os processos de erosão.

Os taludes não foram analisados, pois no caso deste trecho de rodovia, possuem menor influência na formação da erosão, em razão de possuírem pequena altura e serem escassos, por conta da rodovia estar construída no topo do relevo.

Para o levantamento da infra-estrutura de drenagem rodoviária (auditoria ambiental) foi desenvolvido um formulário na forma de uma lista de checagem, onde foram descritas a localização, o tipo de sistema de drenagem e as condições de funcionamento. Por ter relação direta com a formação dos processos de erosão, foi avaliado o sistema de drenagem como um todo, porém especial atenção foi dada às saídas do sistema.

A infra-estrutura de drenagem foi analisada por conjunto de equipamentos. Foi considerado como um conjunto de equipamentos um trecho de drenagem composto por captação, condução e saída (despejo) da água pluvial. A classificação quanto às suas condições foi dividida em quatro categorias com base na análise da sua existência, eficiência e funcionamento, sendo: existente, inexistente, satisfatória, precária e parcialmente destruída.

No primeiro momento, a drenagem foi classificada como existente ou inexistente. Quando inexistente, significa que a drenagem, apesar de necessária para a rodovia, não foi implantada ou foi totalmente destruída. Quando a drenagem é existente, a classificação segue analisando a eficiência como satisfatória ou precária.

A drenagem classificada como satisfatória, como o próprio nome sugere, existe e encontra-se em pleno funcionamento, não necessitando de nenhum tipo de reparo.

A classificação como precária indica uma situação de não funcionamento pleno, que pode ser causado por algumas situações: sub-dimensionamento, má execução, falta de algum item da drenagem (captação, condução ou dissipação) ou destruição. Se a drenagem está

destruída, ela pode estar completamente destruída sendo necessária a reconstrução total, ou parcialmente destruída.

Quando classificada como parcialmente destruída, indica que alguns dos ítems da drenagem encontram-se avariados comprometendo o seu funcionamento.

Após a realização dos trabalhos de descrição da auditoria ambiental, foi elaborada uma análise do risco para cada uma das situações. A classificação foi realizada por meio da avaliação de perigo que oferecem em relação à possibilidade de gerar danos aos usuários, ao meio ambiente e à população lindeira (DERSA, 2006<sup>9</sup>), com a seguinte classificação:

- Baixa: não oferece perigo ao meio ambiente e/ou à saúde dos usuários e da população lindeira;
- Média: pode vir a oferecer perigo ao meio ambiente e/ou à saúde dos usuários e da população lindeira; e
- Alta: oferece perigo ao meio ambiente e/ou à saúde dos usuários e da população lindeira:
  - Ameaça à saúde humana e a segurança - Situações de diferentes naturezas que coloque em risco iminente a saúde dos usuários e da população;
  - Ameaça às condições ambientais dos recursos hídricos: (i) acidente causando assoreamento; (ii) impacto visual.

Com os resultados da carta geotécnica, da auditoria ambiental, e do plano de recuperação de passivos ambientais foi possível a elaboração do plano de **monitoramento ambiental**.

O plano de monitoramento ambiental foi elaborado por meio da definição de seis ferramentas: método de monitoramento, periodicidade, áreas a serem monitoradas, os procedimentos a serem observados, limitações do método e parâmetros para análise de desempenho ambiental.

O método e a periodicidade foram definidos com base nas respostas dos questionários e entrevistas realizadas.

---

<sup>9</sup> DERSA 2006 foi modificado para adequação à pesquisa.

A priorização das áreas a serem monitoradas foi definida com base nas cartas geotécnicas (SANCHEZ, 2006; VEDOVELLO, 2000), auditoria ambiental e no plano de recuperação de áreas degradadas.

Os procedimentos a serem observados durante o monitoramento ambiental foram elaborados com base na auditoria ambiental e no plano de recuperação de áreas degradadas. A filosofia dos procedimentos a serem cobrados está fundamentada na prevenção à formação de novas erosões (FESPSP, 2004) e planejamento da correção das erosões existentes.

O método de monitoramento proposto obviamente tem algumas limitações (CANIL, 2006). Essas limitações foram demonstradas por meio da descrição de dados que não podem ser obtidos e quais incertezas podem ser consideradas.

Conforme proposto por De Jorge (2001), não serão analisados indicadores de desempenho gerencial que buscam avaliar as práticas e procedimentos do empreendedor, mas serão analisados os indicadores de desempenho operacional, que estão relacionados à avaliação dos métodos construtivos e soluções de engenharia para a prevenção e controle de processos de erosão.

De Jorge, (op cit.), coloca que a utilização de indicadores de desempenho ambiental permite quantificar ou valorar as principais atividades e medidas de proteção e controle ambientais de um empreendimento.

A identificação de indicadores ambientais e a sugestão de um critério e parâmetro de avaliação de desempenho ambiental foram baseadas na análise da adoção de medidas preventivas de controle ambiental possíveis de serem adotados pelo empreendimento, para que sejam evitados impactos ambientais causados pelos processos de erosão e também, na análise da ocorrência de impactos.

Utilizando-se da elaboração das cartas geotécnicas, também serão considerados os indicadores das condições do meio ambiente (DE JORGE, 2001), que traduzem as características do meio ambiente do empreendimento, a sua área de influência, as conseqüências dos impactos e danos ambientais causados pela sua operação e as ações para a recuperação das áreas degradadas por processos do meio físico.

A análise de desempenho ambiental tem como base as informações obtidas pela caracterização de impacto ambiental, auditoria ambiental e o cadastro das áreas degradadas. Após a definição de um plano de ação, o monitoramento irá checar se este plano está sendo aplicado adequadamente.

A definição dos parâmetros de desempenho ambiental foram definidos com o objetivo da realização de comparação entre o estado atual da rodovia e as melhorias que podem vir a ser implementadas para a proteção ambiental.

O processo de avaliação de desempenho ambiental inclui fundamentalmente:

- A seleção de indicadores para a ADA (esta seleção pode incluir tanto a escolha de indicadores existentes quanto o desenvolvimento de novos indicadores);
- A medição (ou seja, a coleta de dados relevantes para os indicadores selecionados);
- A análise e conversão de dados em informações, que descrevem o desempenho ambiental da organização;
- A avaliação das informações descrevendo o desempenho ambiental da organização, comparando com os critérios ambientais pré-estabelecidos;
- O relato e a comunicação das informações que descrevem o desempenho ambiental da organização; e
- A análise crítica e melhoria da avaliação de desempenho ambiental.

Serão apresentados como resultado desta pesquisa os indicadores selecionados e a forma de mensurar o desempenho ambiental, com base em Romanini (no prelo). As outras etapas do processo não serão abordadas.

Esta avaliação de desempenho ambiental tem como base o cumprimento do plano de recuperação de áreas degradadas, do plano de intervenção no sistema de drenagem oriundo da auditoria ambiental e do plano de monitoramento ambiental. Não era objeto desta pesquisa a elaboração do plano de controle ambiental e plano de emergências, no entanto, estes têm de ser considerados para a avaliação de desempenho ambiental, conforme proposto por Romanini (no prelo).

O método prevê a definição de pesos ou um total de pontos para cada um dos parâmetros. Se todos os requisitos de medição para o parâmetro forem realizados a contento, ele mantém a pontuação total. No entanto, para cada requisito não cumprido é prevista a subtração da pontuação. Desta forma, por método comparativo entre os resultados históricos, é possível a análise de desempenho ambiental do trecho rodoviário.



### **3.1.5 Quinta etapa – Conclusão da pesquisa**

Na quinta etapa foram elaboradas as conclusões da pesquisa, a preparação do texto final e a apresentação.

As conclusões da pesquisa foram obtidas com base nas análises realizadas após cada uma das etapas da pesquisa. Após cada etapa, foi realizada uma análise sobre quais instrumentos de SGA haviam sido produzidos, sua qualidade e resposta. Posteriormente, foram propostos os avanços e detalhamentos necessários da pesquisa para a elaboração dos instrumentos de SGA de maneira mais adequada.

Estas análises por etapas foram estruturando a conclusão da pesquisa e permitiram analisar se os objetivos haviam sido cumpridos.

Também, nesta etapa foi realizada a consolidação dos dados da pesquisa e elaborado o texto final utilizando dos softwares do pacote *Microsoft Office (Word, Excel, Power Point e Access)*. Depois do texto ter sido estruturado e revisado, foi elaborada a apresentação para a defesa da Tese.

#### **4. RESULTADOS**

Todas as etapas da pesquisa apresentaram resultados, por conta da adoção dos métodos das hipóteses progressivas (SANTOS, 1994), e do detalhamento progressivo (CERRI et al., 1996 e ZAINE, 2000) para a elaboração de cartas geotécnicas, que prevêem que o produto de cada etapa apresente uma reflexão sobre as respostas obtidas. Os resultados provenientes da pesquisa bibliográfica realizada na 1ª etapa, bem como da pesquisa inicial nos órgãos rodoviários, estão apresentados nos capítulos anteriores referentes à introdução, fundamentação teórica e no método da pesquisa.

Serão apresentados em primeiro lugar, os resultados referentes à pesquisa em órgãos rodoviários por meio da análise e interpretação das respostas aos questionamentos (entrevistas e questionários), pois é a base para a definição dos instrumentos de gestão ambiental.

Os resultados referentes à elaboração da carta geotécnica serão apresentados posteriormente, por meio da descrição dos estudos geológico-geotécnico regionais, estudos de semi-detulhe (interpretação de fotografias aéreas, mapa de declividade do terreno, unidades homogêneas de terreno, suscetibilidade à erosão dessas unidades), e estudos de detalhe (suscetibilidade à erosão, cadastro das áreas degradadas e auditoria ambiental da infra-estrutura de drenagem).

A integração entre os dados será apresentada por meio da proposição das ferramentas do SGA, que serão desenvolvidas com base nas etapas de elaboração da carta geotécnica.

##### **4.1 Gestão Ambiental de Rodovias**

Os resultados dos questionamentos realizados com os responsáveis pelas áreas ambientais dos órgãos rodoviários e com os técnicos de empresas de consultoria serão

apresentados a seguir. Serão apresentadas análises sobre as tendências das respostas das entrevistas e dos questionários.

#### **4.1.1 Entrevistas semi-estruturadas nos órgãos rodoviários**

As entrevistas semi-estruturadas foram realizadas em dez organizações distintas, sendo nove estaduais e uma federal, todas responsáveis pelo gerenciamento de rodovias (Apêndice 01). Essas organizações possuem diferentes características sociais. Quatro delas são DERs fundados entre as décadas de 30 e 50 do século passado como autarquias dos governos Estaduais. Outras duas são organizadas como departamentos, sendo uma estadual atrelada à Secretaria de Infra-estrutura e Transporte e outra federal, atrelado ao Ministério dos Transportes, estas duas também como autarquias. Uma delas é uma Secretaria de Estado, onde não existe um órgão específico para gerenciar as rodovias. Entre os órgãos entrevistados existe ainda uma única empresa estatal e duas agências reguladoras, sendo que apenas uma funciona como tal e a outra funciona como autarquia do governo do estado.

No Estado de São Paulo existem três diferentes órgãos, o Departamento Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo DER/SP, Desenvolvimento Rodoviário S.A. – DERSA e a Agência Reguladora dos Transportes do Estado de São Paulo – ARTESP.

O DER/SP é uma autarquia do Estado, criado em 1934. É responsável pela implantação, manutenção e conservação, atuando também com relação ao policiamento, segurança, meio ambiente, na maior parte das rodovias do estado. Estão sob sua responsabilidade cerca de 17.000km de rodovias pavimentadas. O órgão está presente e atuante em todo o Estado, organizado em quatorze Divisões Regionais.

A DERSA, uma empresa de capital misto cujo maior acionista é o Estado de São Paulo, foi criada em 1969 com o objetivo de operar, construir e conservar os acessos do planalto até a baixada santista. Foi muito importante na construção e melhoria de rodovias que dão acesso aos grandes centros urbanos do Estado, até a criação do Programa Estadual de Desestatização na década de 90. Hoje é responsável pela operação e conservação apenas de quatro rodovias (SP 070, SP 065, SP 083 e Rodoanel Mário Covas – trecho Oeste), o que perfaz um total de cerca de 560 km, além das travessias marítimas Santos - Guarujá e São Sebastião - Ilhabela. Também, é responsável pela construção do trecho Sul do Rodoanel Mário Covas (obra em andamento).

A ARTESP foi criada no ano de 1996 e tem o papel de atuar na garantia da qualidade dos serviços das rodovias que estão concedidas à iniciativa privada. A ARTESP gerencia cerca de 3.500km de rodovias no Estado, dividida em doze lotes de concessões.

As entrevistas foram realizadas com os responsáveis técnicos pelas áreas ambientais das respectivas organizações. Estes responsáveis pelas áreas ambientais são técnicos que atuam nos órgãos, sendo que: sete são funcionários de carreira e três ocupam cargo político. Sete destes entrevistados são chefes de áreas (existem no organograma da instituição) e três são apenas responsáveis pela área ambiental, pois estas não existem formalmente. Quatro deles estão no cargo há menos de cinco anos e os outros seis há menos de dez anos.

São consideradas assessorias técnicas cinco organizações, e outras cinco são consideradas gerências ambientais. As organizações possuem papéis diferenciados com relação às suas responsabilidades e atuação. Nove delas respondem pelos trabalhos ambientais em geral: licenciamento ambiental, monitoramento (supervisão) e contatos com o meio externo. Na ARTESP, a responsabilidade é de gerenciar os trabalhos que estão sendo realizados pelas concessionárias e cobrar o cumprimento da lei e dos procedimentos estabelecidos. Em geral, não existem cargos definidos nas áreas ambientais, apenas responsabilidades por serviços.

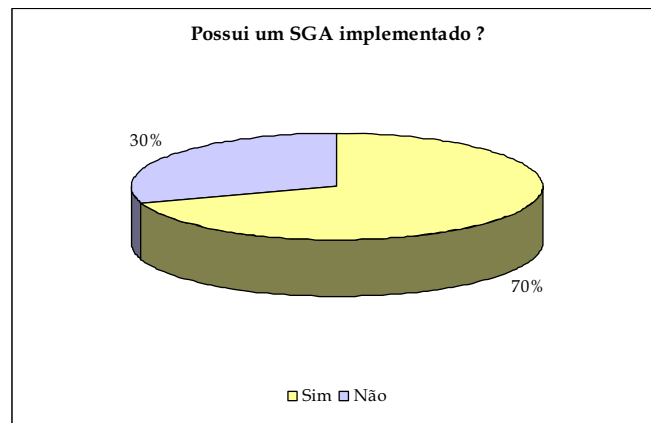
A ARTESP não realiza serviços ambientais, quem os faz são as concessionárias das rodovias que, em geral, contratam empresas de consultoria para a realização destes, sendo que a agência define o padrão de qualidade (normas), cobra e analisa.

Os serviços ambientais são quase que totalmente terceirizados pelo restante das organizações. Apenas em casos isolados os serviços mais simples são realizados pela equipe técnica da organização, mas pedidos de licenciamentos, autorizações e outorgas são, em geral feitos por empresas de consultoria. São executados pelas organizações apenas alguns serviços de monitoramento e vistorias, porém sem o compromisso de abastecer um SGA.

As equipes ambientais dessas organizações são, em grande parte, terceirizadas. Existe uma média de 7,8 funcionários em cada órgão. Os funcionários de carreira dos órgãos, em geral, são oriundos de outras áreas, e não possuem especialidade na área ambiental. Em geral, são equipes multidisciplinares, compostas por Engenheiros Civis, Biólogos, Administradores, Advogados, Geógrafos, Arquitetos, Engenheiros Agrônomos e Engenheiros Florestais. Em apenas três das organizações existem geólogos locados na equipe, sendo que em todas elas como funcionários terceirizados. Em todas as equipes técnicas existem pessoas que possuem

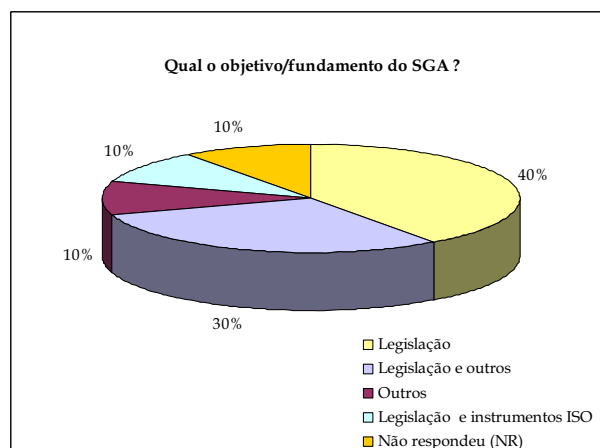
algum curso de especialização, porém, poucos técnicos possuem pós-graduação (mestrado ou doutorado).

Com relação ao questionamento sobre a existência de um Sistema de Gestão Ambiental – SGA formal, 30% responderam que não existe, porém consideram que está em implantação, e 70% responderam que existe (Gráfico 4.1). No entanto, durante o transcorrer das entrevistas verificou-se que em apenas um órgão, no DER/SP, está sendo implantado formalmente o SGA, com base na normatização da série ISO 14.000. Na ARTESP, o SGA existe no âmbito de cada uma das concessionárias de rodovias. A DERSA possui um SGA apenas para a obra de implantação do trecho Sul do Rodoanel. No restante dos órgãos não existe o SGA, mas apenas algumas de suas ferramentas ou parte delas, ou ainda, o que é mais comum, apenas procedimentos para o licenciamento ambiental.



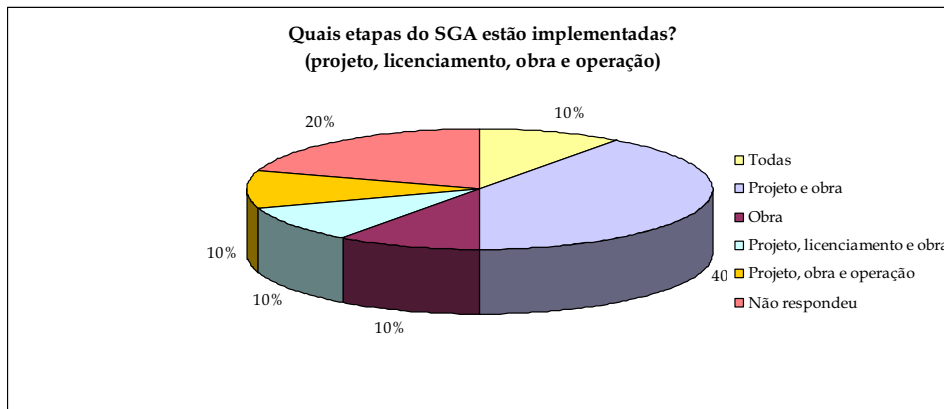
**Gráfico 4.1** – Respostas sobre a existência de um SGA no órgão rodoviário

Porém, fazia parte do mesmo questionamento a definição dos objetivos do SGA, independente dele existir ou não (Gráfico 4.2). Para 70% dos entrevistados, o SGA serve para atender às exigências da legislação.



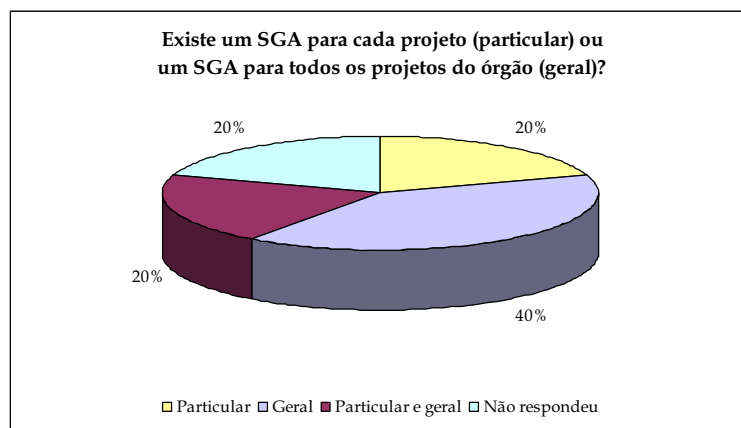
**Gráfico 4.2** – Respostas sobre o fundamento do SGA para rodovias

Os entrevistados foram questionados se os SGAs que estavam implementados abrangiam todas as fases do empreendimento, desde a sua concepção até a sua operação, ou se estava implantado somente em algumas fases do empreendimento (Gráfico 4.3). Apenas 10% dos órgãos consideram que o SGA está implementado em todas as fases dos empreendimentos rodoviários, e 70% consideram que o SGA implementado apenas nas fases preliminares (projeto e obra), geralmente associados apenas ao licenciamento ambiental para a realização da obra e obtenção da licença de operação da rodovia.



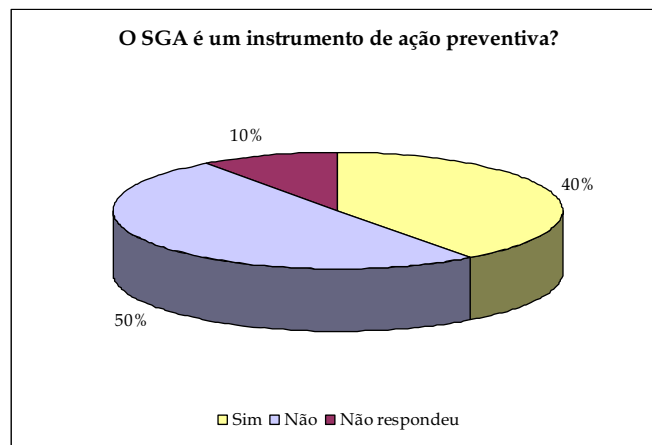
**Gráfico 4.3** – Respostas sobre as fases do empreendimento em que o SGA está implementado

Para a análise da abrangência, dimensão e modo de gestão dos SGAs, os entrevistados foram questionados se o SGA era um instrumento particular para cada uma das rodovias sob responsabilidade do órgão, ou se era um sistema que gerenciava todas as rodovias de uma forma geral (Gráfico 4.4). Em 40% dos casos foi respondido como um sistema de gestão global das rodovias sob responsabilidade do órgão, 20% como um sistema de gestão particular para cada uma das rodovias e 20% responderam que existem as duas formas de gestão, particular e geral, sendo que os dados de cada uma das rodovias são comparados para a obtenção de parâmetros para a gestão geral.



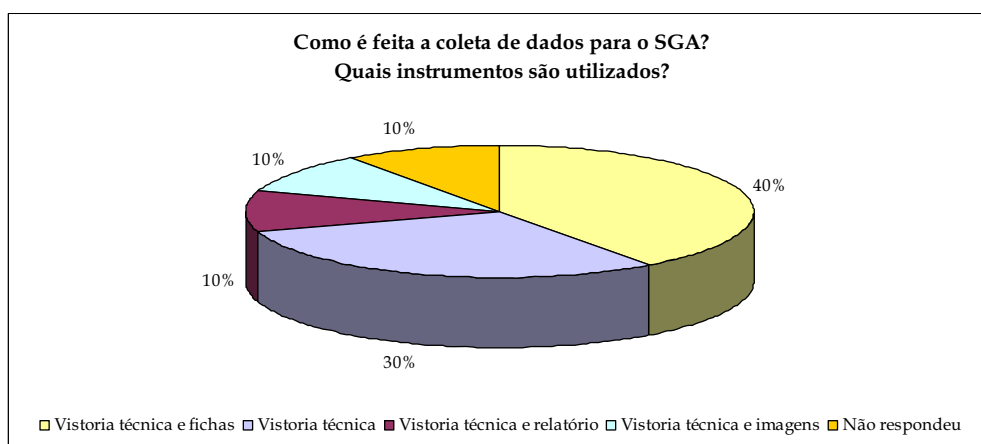
**Gráfico 4.4** – Respostas sobre o sistema de gestão se é particular de cada rodovia ou geral

Ainda na tentativa de compreender a filosofia da ação ambiental dos órgãos, foi realizado o seguinte questionamento: O SGA prevê algum tipo de ação preventiva? (Gráfico 4.5). Para 50% dos órgãos, nenhuma ação preventiva estava prevista no SGA e para 40% algum tipo de ação preventiva era desencadeada pelo SGA. Dentre as ações preventivas, o monitoramento das rodovias e a realização da conserva foram citadas.



**Gráfico 4.5** – Respostas sobre as ações preventivas do SGA

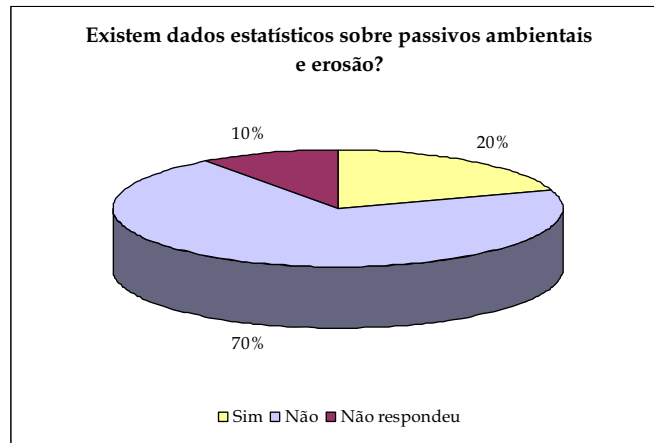
Direcionando as entrevistas para o monitoramento, os entrevistados foram questionados sobre qual método de coleta de dados era realizado para abastecimento do SGA (Gráfico 4.6). Todos consideram que a vistoria técnica é fundamental para a coleta de dados, porém, alguns utilizam em conjunto as imagens aéreas. Para o armazenamento dos dados, 40% utilizam fichas de vistoria (protocolos) e apenas 10% apresentam os resultados em relatórios mensais.



**Gráfico 4.6** – Respostas sobre os métodos de coleta de dados

Por fim, foram questionados se havia um banco de dados sobre os passivos ambientais, principalmente a erosão, que pudesse ser utilizado como forma de gerenciamento da

recuperação dessas áreas e da geração de novos passivos (Gráfico 4.7). Apenas 20% dos órgãos possuem um banco de dados sobre os passivos ambientais e as erosões. Os bancos de dados foram abastecidos com um cadastro dos passivos ambientais registrados em determinado período da história por iniciativa dos órgãos, porém, não existe um instrumento de gestão ambiental que obrigue o órgão a monitorar e a recuperar estas áreas de forma planejada e contínua, com o objetivo de zerar a existência delas.



**Gráfico 4.7** – Respostas sobre a existência de banco de dados sobre passivos ambientais e erosão

O SGA do DER/SP está sendo implantado por conta de uma exigência do Banco Interamericano de Desenvolvimento – BID, em contrapartida pelo financiamento de obras no âmbito do Programa de Recuperação de Rodovias – PRR. O sistema tem o objetivo de melhoria ambiental continuada, cumprimento da legislação ambiental e monitoramento da operação, conserva e implantação de empreendimentos.

A implantação do SGA no DER/SP teve início em julho de 2006 e a responsabilidade é do técnico entrevistado. O SGA aborda os vários tipos de obra, desde a implantação, duplicação, até a recuperação por meio de conserva. Algumas diretrizes ambientais foram incorporadas nos serviços de conserva como método de monitoramento ambiental durante a operação. Foram revistas várias normas técnicas da organização e elaboradas novas normas ambientais.

Para a implantação do SGA foram definidas as responsabilidades desde o Superintendente do órgão, diretorias, até o corpo técnico. Está em andamento o treinamento de todos os níveis hierárquicos, que está sendo realizado na sede e em várias cidades do interior (Diretorias Regionais).



A Assessoria Ambiental do órgão será responsável apenas pela gerência dos serviços ambientais e, para isso, foi desenvolvido um Sistema de Informações Ambientais Rodoviárias – SIAR, que armazena e gerencia dados relativos a relatórios, licenças e identifica procedimentos necessários como licenciamentos complementares e renovação de licenciamentos, além de armazenar os dados de cadastramento dos passivos ambientais.

O SGA implementado é institucional, não existindo a gestão em particular para cada uma das rodovias sob sua responsabilidade. A descentralização ocorre apenas por conta da responsabilidade das Diretorias Regionais exigirem o cumprimento das recomendações da supervisão ambiental.

Os serviços de monitoramento ambiental estão previstos em todas as fases de uma obra, desde a sua concepção (estudos para o licenciamento ambiental), implantação de obras (supervisão ambiental) e operação (monitoramento por meio dos serviços de conserva).

#### **4.1.2 Questionário para técnicos especialistas em meio ambiente rodoviário**

O questionário elaborado é composto por 17 questões organizadas em blocos de assuntos distintos, com base em perguntas diretas e fechadas, para que fosse evitada a interpretação dos técnicos (Apêndice 02).

O questionário foi encaminhado via correio eletrônico para 16 técnicos de empresas de consultoria. Destes, foram obtidas 14 respostas (87,5%), o que é um índice muito alto, se for considerado que Bernard (1988) relata que em média apenas 25% dos questionários encaminhados pelo correio são respondidos. O alto índice de respostas deve-se ao fato de ter sido realizado um contato telefônico para esclarecimentos e convencimento da importância da colaboração dos técnicos.

As respostas ao questionário permitiram a identificação de algumas tendências que foram importantes na definição dos instrumentos de gestão ambiental.

Dos quatorze profissionais que responderam, oito eram geólogos, dois engenheiros civis, dois engenheiros agrônomos, um geógrafo e um biólogo. A consulta com preferência a profissionais em geologia foi intencional, pois o tema da pesquisa refere-se exclusivamente ao meio físico. Os profissionais de outras áreas têm de alguma maneira, relação profissional e experiência com os temas do meio físico tratados por esta pesquisa.

Todos os profissionais têm mais de 6 (seis) anos de experiência profissional, sendo que quatro possuem mais de 11 (onze) anos e dois mais de 21 (vinte e um) anos de trabalhos

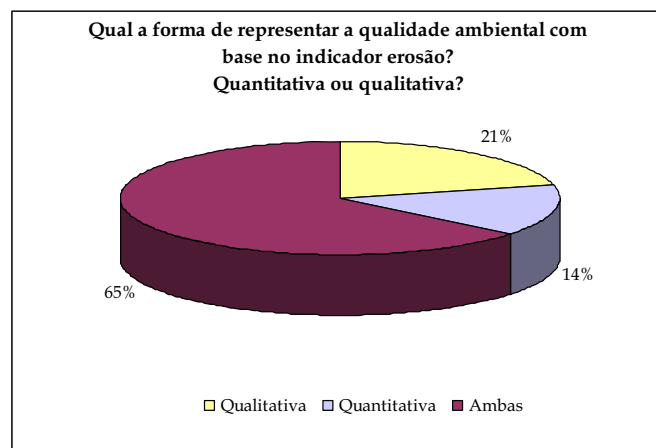
profissionais. Destes, todos têm mais de 6 (seis) anos de atuação na área ambiental e cinco profissionais atuam a mais de 11 (onze) anos.

Ainda com relação à formação dos profissionais, apenas um atua com meio ambiente relacionado a rodovias há menos de 6 (seis) anos, sendo que cinco profissionais atuam há mais de 11 (onze) anos.

Dentre os participantes, 43% possuem o título de doutor ou estão com o curso em andamento, 28% possuem o título de mestre, 7% (apenas um participante) possui especialização na área ambiental e 21% não possuem pós graduação. Para todos os titulados, o tema de suas pesquisas teve uma relação com estudos ambientais.

Estes dados mostram a alta qualificação técnica dos profissionais que participaram da pesquisa.

Com relação ao bloco de questões técnicas relativas à erosão, foram obtidos os seguintes resultados: todos os entrevistados afirmam que a erosão pode ser considerada como indicador de desempenho ambiental (Gráfico 4.8). Conforme o gráfico abaixo, 65% consideram que a erosão pode ser analisada de forma qualitativa e quantitativa, 21% apenas quantitativa e 15% apenas qualitativa.

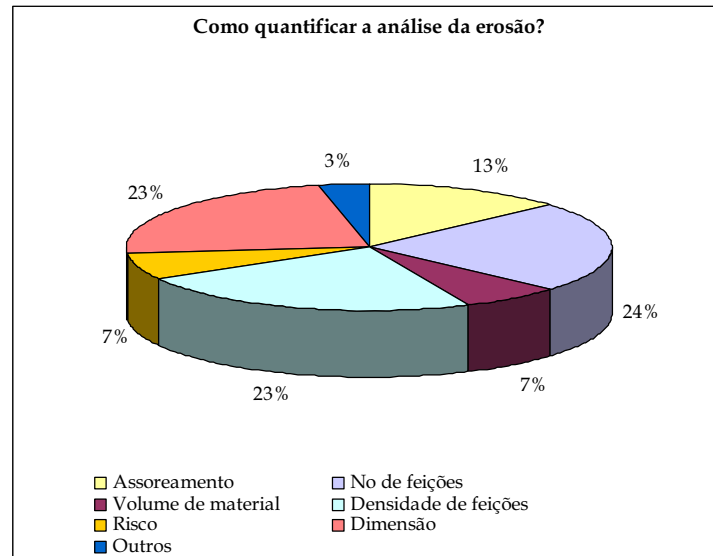


**Gráfico 4.8** – Respostas sobre a erosão como indicador ambiental, quantitativo ou qualitativo

Dos que a consideram qualitativa, a maioria não citou método ou parâmetros de análise, apenas foi citado por um participante que o impacto visual é um fator de qualidade da rodovia, e também, que a análise de gravidade da situação pode ser considerada. No entanto, como fatores qualitativos principais que devem ser considerados, foram citados a tipologia do processo, análise da qualidade ambiental da região ao redor do empreendimento, extensão do impacto e análise da falta de medidas de prevenção.

Para os entrevistados que consideram que a análise deve ser quantitativa, foram citados os seguintes parâmetros de análise: número de feições, densidade de feições de erosão por quilômetro de rodovia, dimensão das feições, assoreamento, volume de material mobilizado e risco que a erosão oferece.

Foi considerado que a análise quantitativa das erosões deve ser realizada com base nos parâmetros expostos conforme o Gráfico 4.9.



**Gráfico 4.9** – Respostas sobre como analisar quantitativamente a erosão

A maioria dos participantes cita a densidade de feições por quilômetro de empreendimento como um dos parâmetros de análise de qualidade e também as suas dimensões (comprimento, largura, profundidade).

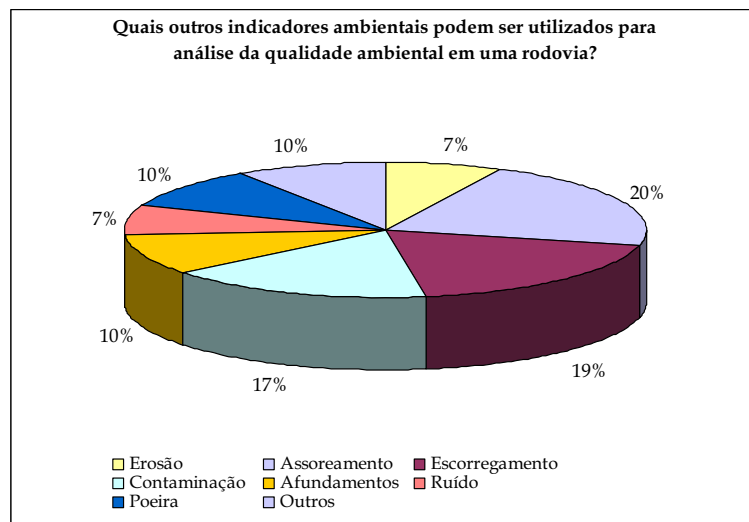
Como impacto direto da erosão sobre os recursos hídricos, 31% citaram o assoreamento como parâmetro de análise e 15% citaram o volume de material mobilizado para análise do impacto.

Um dado muito importante é que 46% dos técnicos citaram que o ambiente de inserção do empreendimento deve ser considerado para a análise quantitativa, ou seja, as condições do meio físico.

A partir desta opinião, um dos participantes cita que a análise somente pode ser quantitativa se forem definidos parâmetros preliminares para a avaliação com base nas características dos terrenos em que ocorrem as erosões, ou seja, a sua suscetibilidade natural.

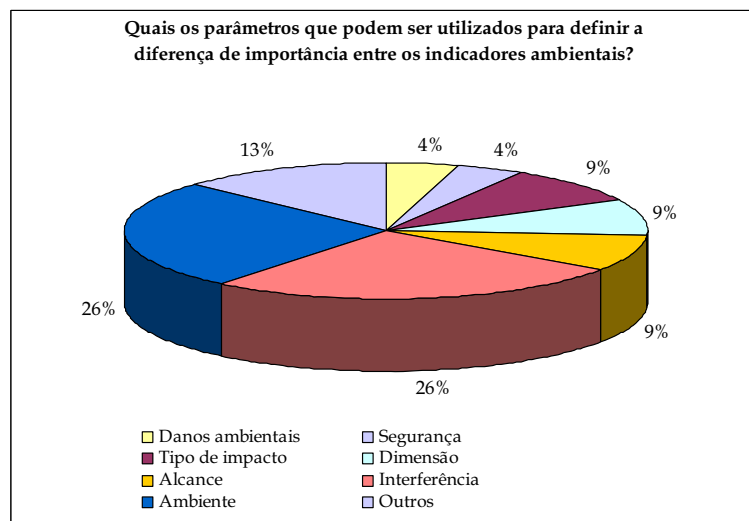
O bloco do questionário sobre indicadores de qualidade ambiental relacionados ao meio físico mostrou a proposição de outros processos geológicos e impactos provenientes da operação, conforme o Gráfico 4.10.

Apenas um dos participantes considerou que não é possível a hierarquização dos indicadores de qualidade ambiental.



**Gráfico 4.10** – Resposta sobre outros indicadores de qualidade ambiental, além da erosão

Os parâmetros para a definição da hierarquia dos indicadores de qualidade ambiental foram citados como apresentado no Gráfico 4.11.



**Gráfico 4.11** – Respostas sobre quais os parâmetros que podem ser utilizados para definir a importância entre os indicadores de qualidade ambiental

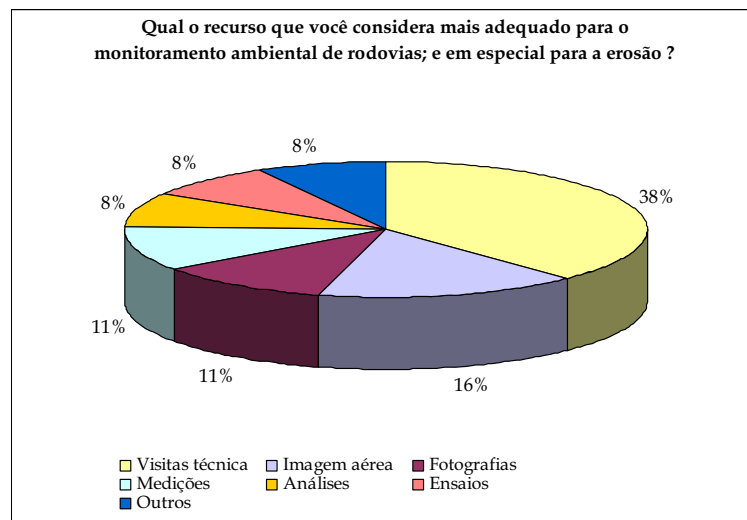
Houve uma dispersão nas respostas desta questão, pois os parâmetros realmente podem ser variados. Porém, novamente 26% responderam que o ambiente de inserção do empreendimento deve ser levado em conta como parâmetro na hierarquia dos indicadores.

Para 46% dos entrevistados, deve ser considerada a relação com o empreendimento, analisando a possibilidade de causar a sua destruição, interrupção temporária, ou mesmo danos menores.

Um dos entrevistados ressalta que a definição dos parâmetros deve ser sempre anterior à análise da qualidade ambiental, para que estes não se tornem tendenciosos, ou seja, devem ser realizados com base na suscetibilidade dos terrenos.

Com relação à sugestão de uma hierarquia dos indicadores de qualidade ambiental, as respostas foram em sua maioria evasivas. Dos entrevistados, 46% apresentaram uma hierarquia. Destes, 66% dos participantes consideraram a erosão como o principal indicador de qualidade ambiental de rodovias. Novamente, foi proposto por 46% dos entrevistados que a análise do ambiente de inserção condiciona a hierarquização dos indicadores de qualidade ambiental.

Para o bloco de questionamentos sobre monitoramento de empreendimentos rodoviários em operação, foi primeiramente solicitada uma proposta de métodos de monitoramento, conforme o Gráfico 4.12.



**Gráfico 4.12** – Respostas sobre os recursos para a realização do monitoramento ambiental

A resposta foi múltipla escolha, e todos os entrevistados consideraram que devem ser realizadas visitas técnicas para o monitoramento ambiental de obras lineares. Também, uma maioria recomendou a utilização de imagens aéreas com análise periódica. Outra grande quantidade de respostas foi com relação ao acompanhamento fotográfico, ou seja, durante as vistorias de campo, a realização de fotografias obtidas a partir de um mesmo ponto para análise da evolução da situação.

Para o monitoramento da erosão e de sua evolução foi sugerida a medição do tamanho das feições, ou seja, uma proposta de quantificar o avanço do processo.

Para o monitoramento de outros parâmetros, que não a erosão, foi também sugerida a realização de ensaios e análises da água, do ar e do solo.

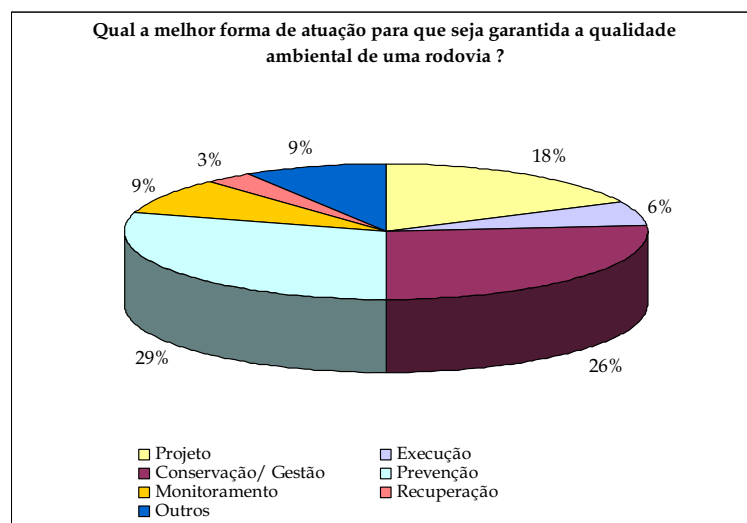
Um resultado não expressivo em porcentagem, porém importante de ser ressaltado, por conta da espontaneidade da resposta, é a citação da carta geotécnica como recurso para o monitoramento ambiental. Este resultado pode ser considerado da mesma forma que em respostas anteriores, alguns participantes consideraram o ambiente de inserção do empreendimento como um dos fatores a ser considerado na análise de qualidade ambiental e definição de parâmetros.

Com relação à periodicidade para o monitoramento, 61% citaram que a época do ano deve definir a periodicidade, explicitando que nos períodos chuvosos deve ser com espaçamentos mais curtos (semanal) e, no restante do ano, com periodicidade mensal.

Novamente foi citado por 23% dos técnicos que o ambiente de inserção do empreendimento também deve ser levado em conta para a definição da periodicidade de monitoramento do empreendimento.

No bloco de perguntas direcionadas a diagnosticar a importância de um SGA na melhoria de qualidade ambiental de empreendimentos rodoviários, iniciou-se o questionamento sobre a melhor forma de garantia da qualidade ambiental do empreendimento.

Foram apresentadas as melhores formas de atuação para a garantia da qualidade ambiental de um empreendimento linear (Gráfico 4.13).



**Gráfico 4.13** – Como garantir a qualidade ambiental de uma rodovia

No sistema de múltipla escolha, a adoção de medidas preventivas foi a maioria das respostas, com 29%. A prevenção por meio da conservação e gestão é o que considera a maioria dos entrevistados, com 26%, sendo que as respostas sempre foram casadas com a prevenção. Pode-se considerar que 55% consideram esta alternativa como a melhor maneira de garantia da qualidade ambiental. Porém, fica clara a opinião dos participantes sobre a importância da necessidade da elaboração de projetos adequados para as rodovias.

Foi ainda citada a necessidade de treinamento das equipes técnicas de conservação e a necessidade imediata de recuperação de danos ambientais de menor porte, para que seja evitado o crescimento do problema.

Novamente, para 18% dos entrevistados, a prevenção de problemas deve ser realizada por meio de projetos bem elaborados e executados.

Embora não apareça nas estatísticas por ter sido considerado como parte da gestão do empreendimento, foi citado nas respostas que é necessário que a organização responsável pelo empreendimento esteja envolvida e esclarecida no processo de prevenção de problemas ambientais.

No último bloco de questões, que visa a analisar a utilização de cartas geotécnicas, foi constatado que esta ferramenta é conhecida por todos os participantes.

No entanto, apenas 15% afirmaram que já utilizaram cartas geotécnicas como base para o monitoramento ambiental de empreendimentos lineares.

Outros 36% comentaram que já utilizaram cartas geotécnicas para estudos ambientais preliminares à implantação de empreendimentos. As cartas geotécnicas foram utilizadas na Avaliação de Impacto Ambiental.

Porém, 57% dos participantes nunca utilizaram cartas geotécnicas para trabalhos ambientais em quaisquer fases do empreendimento.

Foi comentado por três participantes que as cartas geotécnicas não estão disponíveis, ou estão disponíveis em escalas incompatíveis com a aplicação.

#### **4.1.3 Análise dos resultados sobre a pesquisa de gestão ambiental em rodovias**

O principal resultado desta pesquisa é o reconhecimento da situação de como são tratadas as questões ambientais pelos órgãos rodoviários e como o meio técnico está preparado para a implantação dos instrumentos de gestão ambiental, sempre com relação à erosão.

Os órgãos rodoviários não possuem sistema de gestão pautado nas normas da série ISO para as rodovias e, obviamente, a gestão ambiental não existe. Apenas o DER/SP possui um sistema de gestão ambiental formal que, no entanto, está em fase de implantação. A cultura predominante sobre o tema meio ambiente, é apenas de cumprir as leis relacionadas ao licenciamento. Mesmo nesse contexto, alguns órgãos rodoviários entendem e fazem um discurso de que possuem sistema de gestão ambiental, o que é muito grave, pois demonstra o desconhecimento sobre o assunto.

As equipes dos órgãos rodoviários, em geral, são despreparadas para a implantação de uma política ambiental. Os trabalhos realizados são apenas para atender às exigências legais ou, no limite da situação, implementar medidas de proteção quando a rodovia está com o seu funcionamento comprometido.

Não existe nenhuma política de gestão da erosão. O que existe é apenas o tratamento da erosão como passivo ambiental e realização de obras quando estes processos comprometem o funcionamento da rodovia. Não existe política de prevenção da erosão.

Fica evidente, conforme demonstrado, que a erosão é o principal causador de impactos ambientais em rodovias e que, portanto, esta pesquisa justifica-se no sentido de buscar a solução desses problemas por meio da gestão. A caracterização dos impactos ambientais está relacionada à dimensão do processo de erosão, relação com a rodovia, assoreamento e ao ambiente de inserção.

A análise da erosão com relação ao ambiente de inserção, à situação atual, e à gestão dos problemas, pode ser utilizado como um parâmetro ao instrumento de análise de desempenho ambiental (DE JORGE, 2001). Para tanto, a elaboração dos instrumentos de gestão, como a auditoria ambiental e recuperação de áreas degradadas, é a base para a identificação da situação atual da rodovia que está em operação e planejamento da gestão dos processos de erosão, no sentido de prevenção e correção.

O desenvolvimento do monitoramento ambiental quando realizado em campo, é peça fundamental para a avaliação dos problemas de erosão e, principalmente para a definição do desempenho ambiental (DE JORGE, op cit.). O monitoramento é uma função da conservação da rodovia, e têm de ser realizado periodicamente com o objetivo de melhorar as condições, ambientais. Para tanto, tem que ser um instrumento com autonomia de investigação e poder para desencadear algumas ações como a requisição de obras de restauração, melhoria e implantação de sistema de drenagem, além de recuperação de passivos ambientais.



No entanto, o monitoramento ambiental precisa de parâmetros de partida, que também podem estar baseados nos levantamentos dos instrumentos de auditoria ambiental e recuperação de áreas degradadas, mas necessariamente têm de estar fundamentado no conhecimento do meio em que se insere a rodovia, para que se tenha a previsibilidade dos tipos de processos a que esta está submetida.

Com relação ao conhecimento do meio, o instrumento de gestão, que é básico, é a avaliação de impacto ambiental. Para o desenvolvimento desse instrumento, é necessário o reconhecimento das potencialidades e limitações do meio em relação às exigências que o empreendimento exerce e realizar essa correlação com a previsão de impactos (FOGLIATTI, FILIPPO e GOUDARD, 2004).

A carta geotécnica é pouco utilizada para os estudos ambientais em rodovias. É utilizada apenas para os estudos prévios à implantação, ou seja, para o processo de licenciamento formal. Na fase dos estudos preliminares a carta geotécnica é utilizada para a avaliação de impacto ambiental, o que pode ser seguido quando do processo de licenciamento do empreendimento em operação.

#### **4.2 Estudos Geológico-Geotécnicos Regionais**

Os resultados dos estudos para o desenvolvimento da carta geotécnica serão apresentados por etapas, pois no final de cada uma será apresentada a reflexão sobre as respostas de aplicação do produto em um SGA.

Inicialmente foi realizado um levantamento em mapas e cartas temáticas em diferentes escalas, com as quais foi possível a definição mais precisa da área de estudo e a caracterização preliminar com relação ao meio físico, quais sejam:

- Mapa Geológico do Estado de São Paulo escala 1:750.000 (PERROTA et al.- CPRM, 2005) (Figura 4.1);
- Mapa Geológico do Estado de São Paulo escala 1:500.000 (ALMEIDA et al. – IPT, 1981a);
- Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo escala 1:500.000 (ROSS & MOROZ – IPT, 1997) (Figura 4.2);
- Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo escala 1:1.000.000 (PONÇANO et al. – IPT, 1981b);
- Mapa Pedológico do Estado de São Paulo 1:500.000 (OLIVEIRA, CAMARGO, ROSSI e CALDERANO – IAC, 1999) (Figura 4.3); e

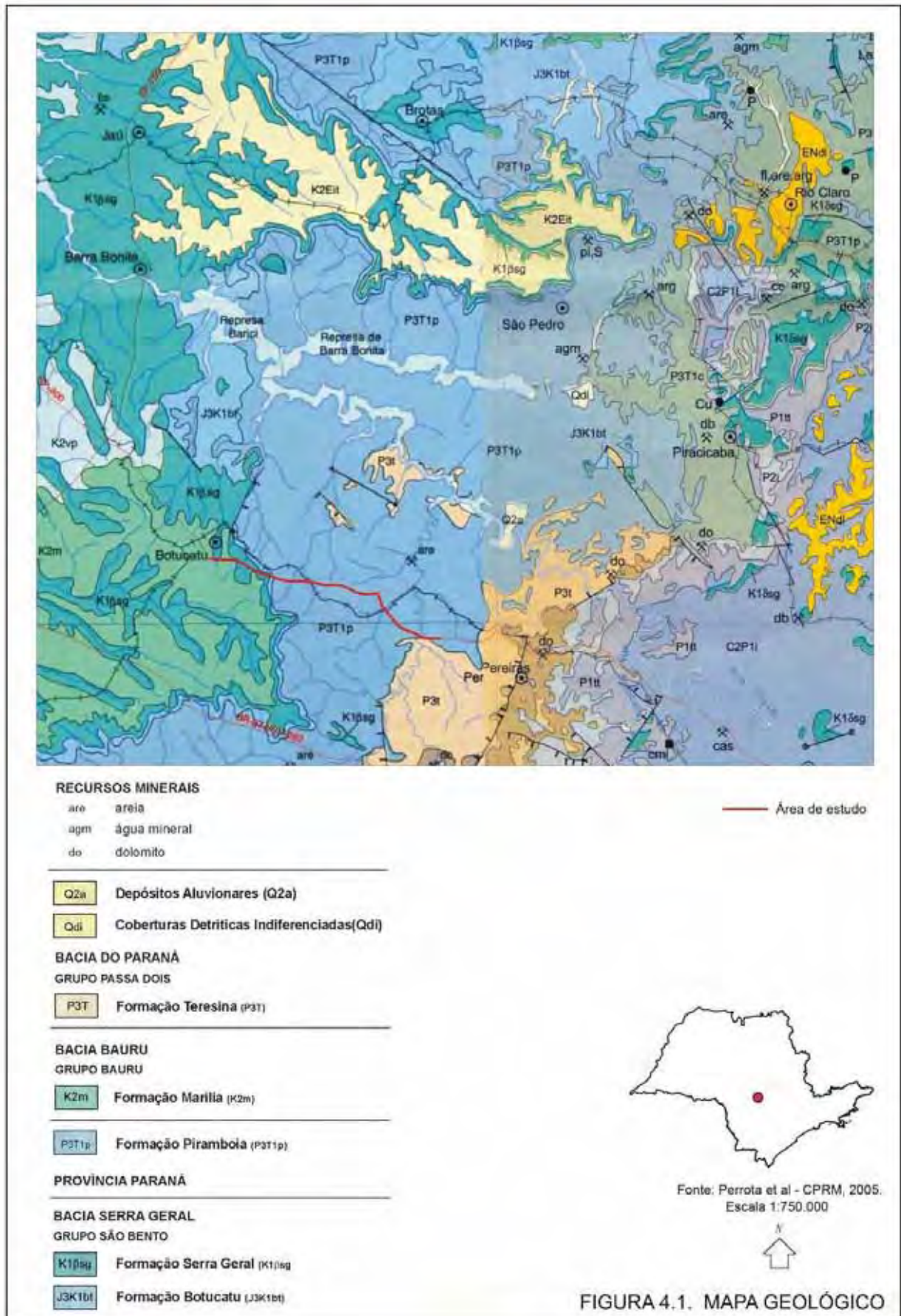
- Carta Geotécnica do Estado de São Paulo 1:500.000 (NAKAZAWA, FREITAS e DINIZ – IPT, 1994) (Figura 4.4).

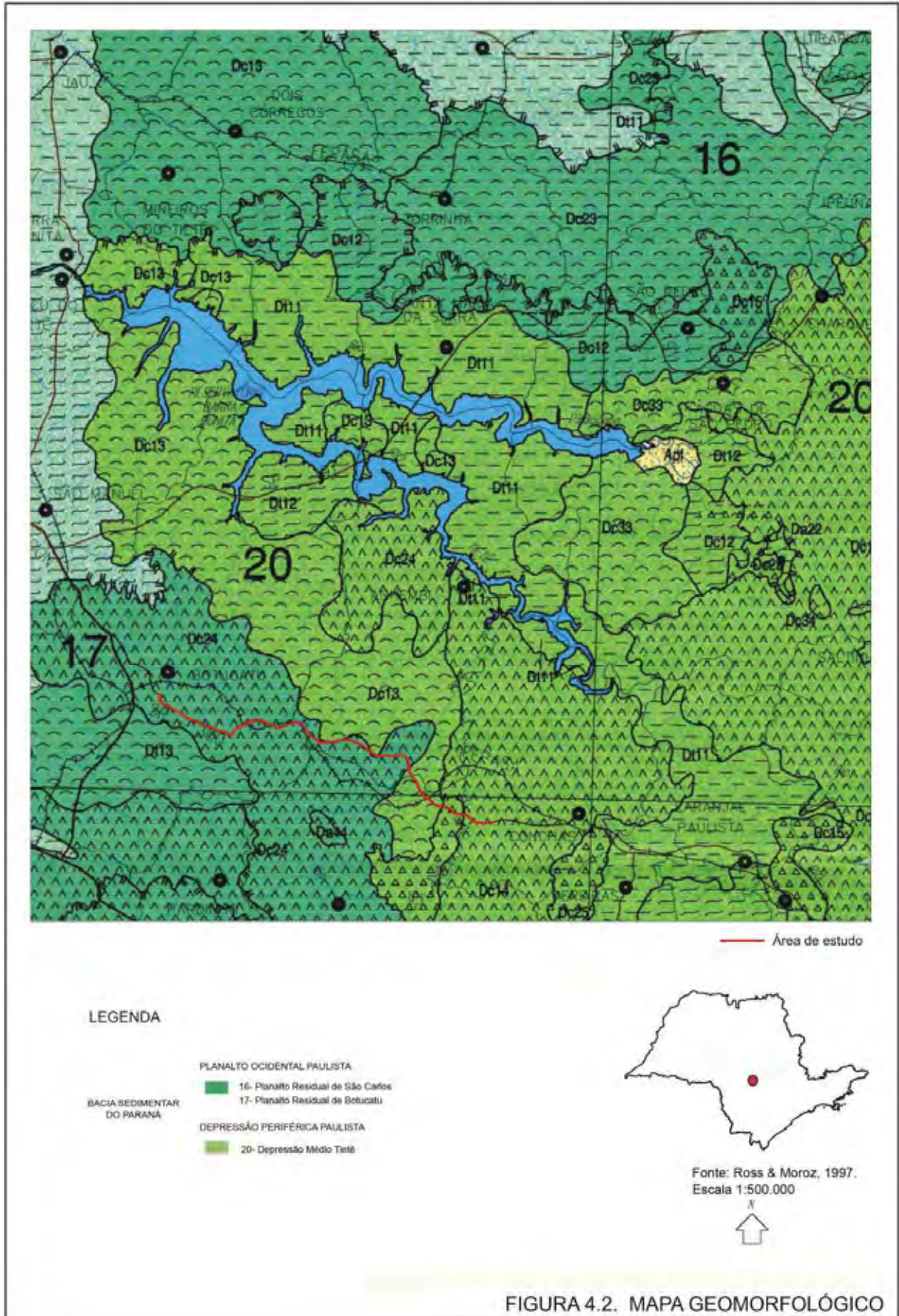
Os estudos regionais elaborados com base em mapas de diferentes atributos do meio físico, apresentados nas escalas que variam de 1:500.000 a 1:1.000.000, estão sintetizados no Quadro 4.1. A elaboração do quadro foi um primeiro ensaio na tentativa de agrupar as diferentes unidades que pudessem traduzir o comportamento do terreno.

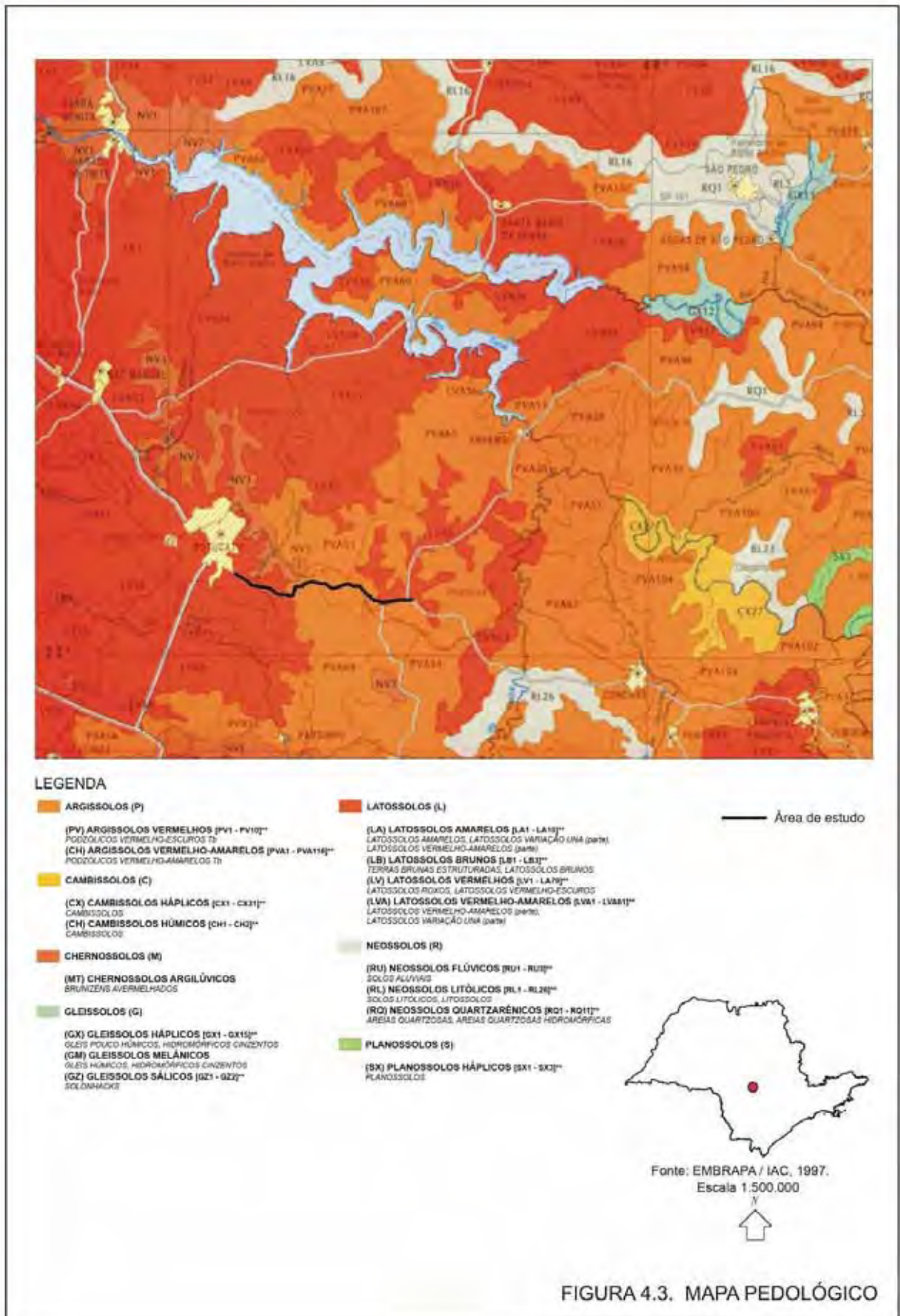
Com base na caracterização das unidades geomorfológicas foi feita uma relação da distribuição espacial e foram caracterizadas as rochas, os solos e o comportamento geotécnico.

	<b>GEOMORFOLOGIA</b>	<b>GEOLOGIA</b>	<b>PEDOLOGIA</b>	<b>PROCESSOS DO MEIO FÍSICO</b>
<b>SP 300</b>	<p>Escarpas da Serra de Botucatu, vertentes com perfis retilíneos, formadas por ruptura positiva do relevo colinoso, com declividade predominante superior a 20%. Amplitude de 150m a 200m.</p> <p>No reverso da cuesta, colinas amplas a médias com predomínio de interflúvios superiores a 4 km<sup>2</sup> e declividades suaves variando entre 10 a 20 %. Amplitude de 20m a 100m. Predomínio de vertentes retilíneas a convexas. Baixa a média densidade de drenagem, vales fechados.</p>	<p>Rochas ígneas da Formação Serra Geral composta por basaltos toleíticos em forma de derrames, sills ou diques. Por vezes, ocorrem intercalações de arenitos da Formação Botucatu.</p> <p>Rochas sedimentares da Formação Marília composta por arenitos de granulação grossa a fina, imaturos, pouco coesos, conglomeráticos com clastos arenosos e de calcário. Depósitos arenosos Teciários-Quaternários nos topos das colinas.</p> <p>Rochas ígneas da Formação Serra Geral composta por basaltos toleíticos em forma de derrames, sills ou diques nos fundos de vale e em pontos localizados de relevos mais suaves (sills ou diques).</p>	<p>Solos pouco desenvolvidos e com espessura reduzida, Neossolos Litólicos e Cambissolos.</p> <p>Solos bem desenvolvidos do tipo Latossolo e solos mal desenvolvidos do tipo Neossolo Quartzarênico. Solos de textura média arenosa a extremamente arenosa. São permeáveis, friáveis e pouco coesos. Nos basaltos ocorrem principalmente Cambissolos nas declividades mais acentuadas e localizadamente em declividades mais suaves ocorrem solos bem desenvolvidos do tipo Latossolo Vermelho férico. Textura argilosa. São permeáveis devido a presença de macroporos.</p> <p>Solos bem desenvolvidos do tipo Latossolo e eventualmente solos mal desenvolvidos do tipo Neossolo Quartzarênico. Solos de textura média arenosa a extremamente arenosa. São permeáveis, friáveis e pouco coesos.</p>	<p>Alta suscetibilidade a escorregamentos em solo e rocha.</p> <p>Alta a Muito Alta suscetibilidade a erosão por:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sulcos;</li> <li>• Ravinas e Boçorocas</li> </ul> <p>Média suscetibilidade à ocorrência de colapsos no solo nos locais onde ocorrem basaltos em relevo mais suave. Baixa suscetibilidade a outros processos do meio físico.</p> <p>Alta a Muito Alta suscetibilidade a erosão por:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sulcos;</li> <li>• Ravinas e Boçorocas</li> </ul>

**Quadro 4.1** - Características regionais do meio físico do trecho da rodovia









#### **4.2.1 Análise dos resultados sobre os levantamentos regionais**

Os resultados obtidos com os produtos desta etapa foram muito importantes para a caracterização regional da área de estudo e, reconhecimento dos componentes do meio físico e dos possíveis impactos ambientais relacionados a eles.

Justifica-se o detalhamento dos estudos, por meio da elaboração de uma caracterização de impacto ambiental para a área de estudo por tratar-se de um meio extremamente vulnerável à ocorrência de processos de erosão (SANCHEZ, 2006). O único instrumento de Gestão Ambiental que pode ser desenvolvido com os dados desta etapa é a Avaliação de Impacto Ambiental, dependendo do grau de detalhamento que seja exigido. Os estudos nestas escalas regionais não apresentam e, nem seria possível, o reconhecimento de áreas degradadas ou uma auditoria ambiental do empreendimento.

A Carta Geotécnica do IPT (NAKAZAWA, FREITAS E DINIZ, 1994), que é a síntese dos outros estudos do meio físico, é rica na apresentação dos possíveis impactos, que são apresentados com base na análise da suscetibilidade dos terrenos. No entanto, devido a escala de apresentação, não existe precisão quanto aos limites das unidades geotécnicas. Também, a caracterização do meio físico exige que os documentos de origem (mapa geológico, mapa geomorfológico e mapa pedológico) sejam consultados para a complementação das informações.

A escala dos estudos regionais e a inserção da rodovia nesse contexto dificulta a visualização mais precisa dos diferentes ambientes que estão sendo atravessados, sendo possível o entendimento apenas do contexto. A imprecisão dos limites das unidades caracteriza somente os potenciais impactos ambientais, não sendo possível a exata avaliação da sua extensão e magnitude ao longo do trecho rodoviário.

Dependendo da aplicação desejada, como por exemplo o monitoramento ambiental, pode ser necessária a localização mais exata e uma análise mais profunda sobre a magnitude, significância e previsibilidade do impacto.

Desta forma, como também pretende-se o desenvolvimento do instrumento do monitoramento ambiental, além da auditoria ambiental e da recuperação de áreas degradadas, mostrou-se necessário o maior detalhamento dos estudos. O detalhamento proposto será apresentado no ítem seguinte e foi realizado por meio da elaboração de uma carta geotécnica na escala de semi-detalhe 1:50.000 e do levantamento das feições de erosão utilizando-se da interpretação das fotografias aéreas.



### 4.3 Estudos Geológico-Geotécnicos de Semi-detulhe na escala 1:50.000

A elaboração da carta geotécnica na escala 1:50.000 apresenta uma série de resultados parciais, que são importantes de serem apresentados para a caracterização das fases que compõem o método utilizado.

#### 4.3.1 Fotointerpretação para os estudos de semi-detulhe

A fotointerpretação realizada para o reconhecimento preliminar da área de estudo gerou dois produtos principais, a compartimentação dos terrenos (Figura 4.5) e a interpretação de feições de erosão.



**Figura 4.5** – Exemplo de interpretação das unidades homogêneas e feições de erosão nas fotografias aéreas de 2006

Para a compartimentação dos terrenos a fotointerpretação realizada na escala 1:30.000, teve como base as feições do relevo para a individualização das unidades. Foram utilizadas feições de relevo, tais como: diferença de cores (tons de verde), rupturas de declive, densidade de drenagem, perfil das vertentes e rugosidade do terreno para a definição das unidades homogêneas.

A área de estudo definida para esta escala possui um total de 70,24 km<sup>2</sup>, ao longo de 33 km de rodovia mais um quilômetro para cada lado.

Primeiramente foram individualizadas as unidades referentes às várzeas mais extensas. Estas unidades foram caracterizadas pela posição geográfica em fundos de vales, diferença de coloração (mais escuro) e pela baixa declividade do relevo.

Foram também levantadas as unidades relacionadas às escarpas, sendo estas diferenciadas entre as escarpas da Serra e as escarpas interiores da Depressão Periférica. A identificação destas unidades foi possível pelo mapeamento das rupturas de relevo positivas no topo e rupturas negativas na sua base, além da alta declividade dos terrenos. Também, a cor do terreno possui um tom de cinza mais escuro e a rugosidade é mais pronunciada.

Restaram apenas áreas relacionadas às vertentes menos declivosas e aos topos das colinas. Estas unidades não foram subdivididas devido às suas características comuns e foram definidas após a individualização das unidades anteriores. No entanto, foi possível a sua caracterização devido a posição geográfica nos topos de colinas, ao relevo suave, baixa densidade de drenagem e a rugosidade muito suave dos terrenos.

Foram definidas cinco unidades do terreno, sendo que uma delas teria duas subclasses, sendo: Unidade I – Várzeas e fundos de vale; Unidade IIa – Cuesta da Serra de Botucatu; Unidade IIb – Reverso da cuesta na Serra de Botucatu; Unidade III – Vertentes íngremes nos arenitos; Unidade IV – Topos de colinas nos arenitos; e Unidade V – Arenitos no reverso da cuesta.

A interpretação das feições de erosão foi realizada utilizando-se das mesmas fotografias aéreas, porém com imagens digitais georreferenciadas, no computador, ampliadas e em escala de maior detalhe, aproximadamente entre 1:5.000 e 1:15.000 e lançadas na base cartográfica na escala 1:50.000 (Apêndice 3).

O objetivo do levantamento é a identificação de feições erosivas de grande porte (RIDENTE, 2000) para a análise da concentração destes processos por área e por quilômetro da rodovia (Figura 4.6). Foram interpretadas as feições nas quais foram observadas reentrâncias no terreno causadas pela erosão do tipo ravina ou boçoroca. Este levantamento permite a realização de uma retroanálise dos processos existentes e colabora para a definição das unidades do terreno que possuem a maior concentração de feições de erosão.

Também, foram analisadas separadamente as feições de erosão diretamente relacionadas à plataforma da rodovia, com o intuito de analisar a interferência direta da rodovia sobre o desenvolvimento desses processos e as suas causas e condicionantes.

Foram interpretadas 48 (quarenta e oito) feições de erosão nos 70,4 km<sup>2</sup> da área de estudo, o que resulta numa concentração de 0,6 erosão por quilômetro quadrado. Destas, 27 (vinte e sete) feições estão relacionadas à rodovia, ou seja, 56 % das erosões da área de estudo foram causadas pela mesma.



**Figura 4.6** – Exemplo de interpretação das feições de erosão (em azul) nas fotografias aéreas de 2006

Com o Quadro 4.2 pode-se realizar uma análise quanto a suscetibilidade à erosão. Estão apresentados: a área ocupada pelas unidades geotécnicas, número de feições de erosão por unidade geotécnica, o índice de concentração de erosões por unidade, a dimensão da rodovia dentro de cada uma das unidades e o índice de erosões relacionadas à rodovia dentro de cada unidade.

Em geral, os índices obtidos são coerentes com as classes da análise de suscetibilidade à erosão (unidades geotécnicas). Estes índices não definem a suscetibilidade natural à erosão dos terrenos, pois a deflagração de um processo erosivo linear está intimamente relacionada ao tipo de uso do solo.

No entanto, quando analisados regionalmente, os índices são importantes indicadores da suscetibilidade, se comparados entre si (RIDENTE, 2000) e se analisados sob o contexto do meio físico ou sob o histórico de ocupação do solo.

Os maiores índices de concentração de erosão estão relacionados às Unidades IIa e III, escarpas da Serra de Botucatu e escarpas internas nos arenitos. Estes índices maiores devem-se principalmente ao relevo com maior inclinação das vertentes, que formam processos de ravinamentos mais intensos e escorregamentos.

Dados	Área das unidades geotécnicas em km <sup>2</sup>	Números de feições de erosão fotointerpretadas por unidade geotécnica	Índice de concentração de erosões por km <sup>2</sup> de cada unidade	Extensão da rodovia em km dentro de cada unidade	Número de feições de erosão relacionada à rodovia	Índice de concentração de erosão relacionada à extensão em km de rodovia
Unidades Geotécnicas						
Unidade I – Várzeas e fundos de vale	8,83	1	0,11	3,28	1	0,31
Unidade IIa – Cuesta da Serra de Botucatu	5,45	9	1,65	4,29	4	0,93
Unidade IIb – Reverso da cuesta da Serra de Botucatu	3,49	0	0	1,70	0	0
Unidade III – Vertentes íngremes dos arenitos	28,22	23	0,81	6,79	17	2,5
Unidade IV – Topos de colinas nos arenitos	23,34	15	0,64	14,84	5	0,34
Unidade V – Arenitos no reverso da cuesta	6,45	0	0	2,99	0	0

**Quadro 4.2** – Índices de concentração de feições de erosão por área das unidades (km<sup>2</sup>) e por extensão da rodovia (km)

A Unidade IV possui um índice de concentração de erosão abaixo da média de toda a área de estudo. No entanto, as feições de erosão observadas nestes terrenos são as de maior porte, mais graves e de maior poder de destruição.

O baixo índice de concentração de erosão era esperado na Unidade I. A baixa declividade dos terrenos e a posição geográfica favorecem a deposição de material e não a erosão. O tipo de processo erosivo que ocorre nestes locais relaciona-se ao solapamento de margens fluviais.

As Unidades IIb e V tem baixo índice devido a suavidade do relevo nestes terrenos e ao maior teor de argila no solo.

#### **4.3.2 Declividade dos terrenos para a carta geotécnica na escala 1:50.000**

Adotou-se o método de Salomão (1994), Ridente (2000) e Agena (2005) com o objetivo de relacionar a declividade do terreno com o tipo de solo local e a relação com a gênese dos processos erosivos. Os intervalos utilizados foram 0% - 3%, 3% - 10%, 10% - 20%, > 20% (Apêndice 04).

O intervalo 0% - 3% refere-se aos locais mais suaves, onde ocorrem planícies fluviais ou topos de colinas. Nas planícies fluviais predominam solos aluvionares, do tipo Gleissolos. São áreas onde podem ocorrer processos erosivos de solapamento de margem fluvial, inundação e assoreamento. Nos topos de colinas com essa declividade os solos são muito espessos e homogêneos, geralmente lateríticos. Formam-se processos erosivos de grande porte em cabeceiras de drenagem de 1ª ordem.

Entre 3% - 10% estão as vertentes de colinas. Ocorrem solos espessos e homogêneos, por vezes residuais e, também transportados, e formam-se processos erosivos de grande porte em cabeceiras de drenagem de 1ª ordem.

Já no intervalo de 10% - 20% ocorrem os solos residuais e, também coluvionares, do tipo Argissolo, onde existe um horizonte B com um nível de argila mais pronunciado. Nestes locais, formam-se principalmente, processos de ravinamentos mais intensos.

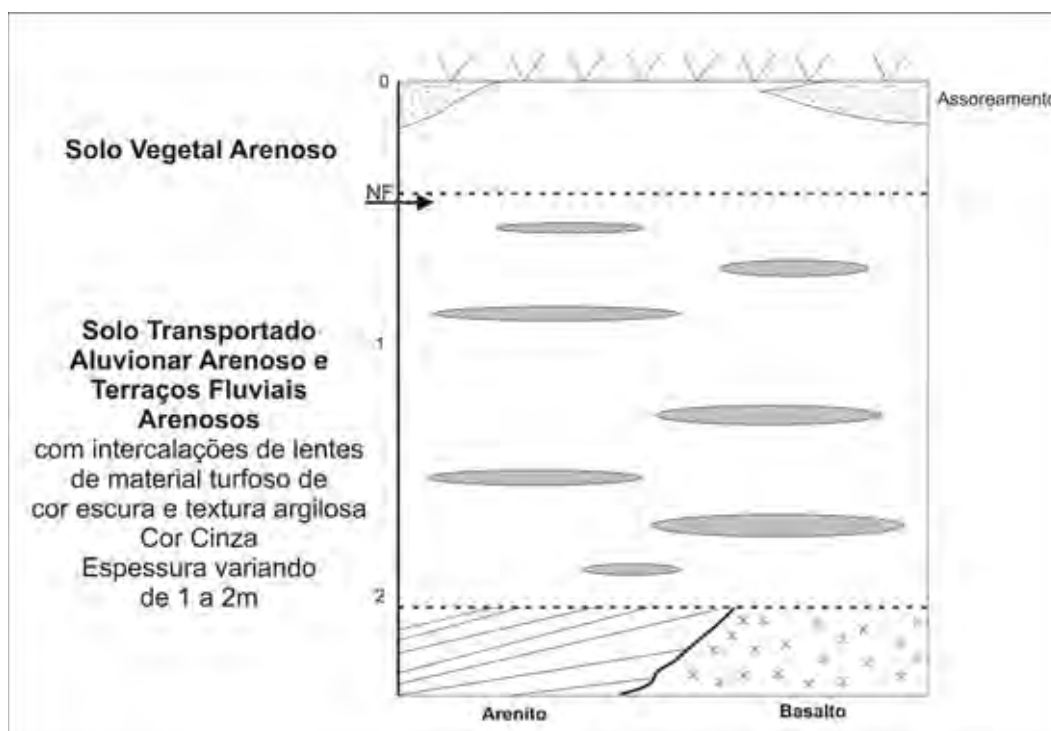
Acima de 20% ocorrem solos pouco desenvolvidos, transportados, pouco espessos, por vezes intercalados com depósitos de tálus. Os processos predominantes são de movimentos gravitacionais de massa, porém podem ocorrer ravinamentos muito intensos.

#### **4.3.3 Perfis de alteração típicos das unidades dos terrenos na análise de semi-detalle**

Os perfis típicos de cada uma das unidades do terreno foram obtidos por meio de levantamento de campo. Foram analisados taludes e barrancos ao longo da rodovia e de estradas vicinais ao seu redor, além das paredes internas de feições de erosão e, definidos cinco perfis típicos das unidades homogêneas do terreno.

##### **Perfil I – Várzeas e fundos de vale**

Solo transportado aluvial e depósitos fluviais, de coloração predominantemente cinza com porções superiores mais escuras e por vezes amareladas, indicando assoreamento. Podem ocorrer os solos Gleissolos caracterizados por solo mineral imediatamente abaixo do horizonte orgânico e Neossolos Flúvicos que são derivados de sedimentos aluviais com horizonte orgânico assentado sobre rochas alteradas. A textura predominante é arenosa. Existem intercalações de camadas orgânicas de cor preta. A espessura é variável, no entanto predominam solos entre 0,5m e 2m (Figura 4.7).

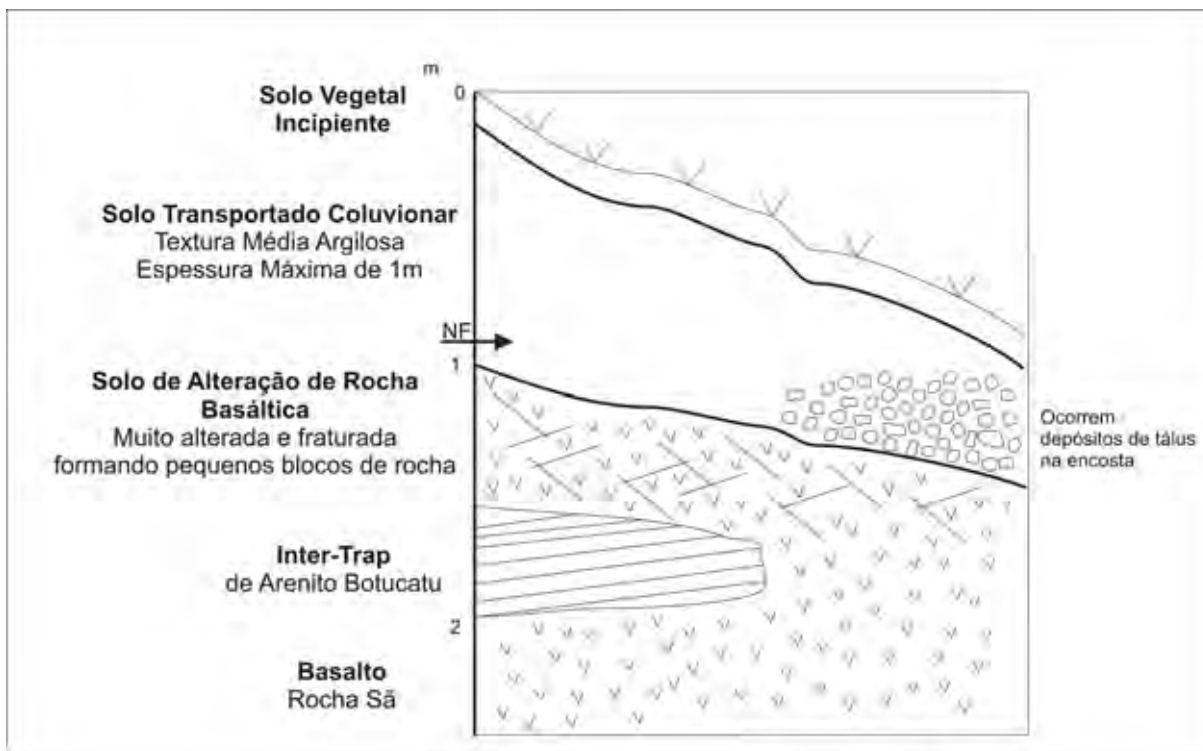


**Figura 4.7** – Perfil de alteração típico das várzeas e fundos de vale

### **Perfil II – Cuesta da Serra de Botucatu**

O perfil típico referente às cuestas da Serra de Botucatu é de um solo transportado coluvial, pouco desenvolvido, de textura predominantemente argilosa, com cor escura, que ocorre sobre rochas basálticas, extremamente faturadas e com grau de intemperismo variado. São solos Neossolos Litólicos caracterizado pelo horizonte orgânico (<40cm) assentado diretamente sobre a rocha ou Cambissolos que são constituídos por horizonte composto por material mineral abaixo do horizonte orgânico. A espessura máxima desses solos é de 1 m. Localmente podem ocorrer diferenciações devido à presença de inter-trap de arenito, ou devido a presença de depósitos de tálus.

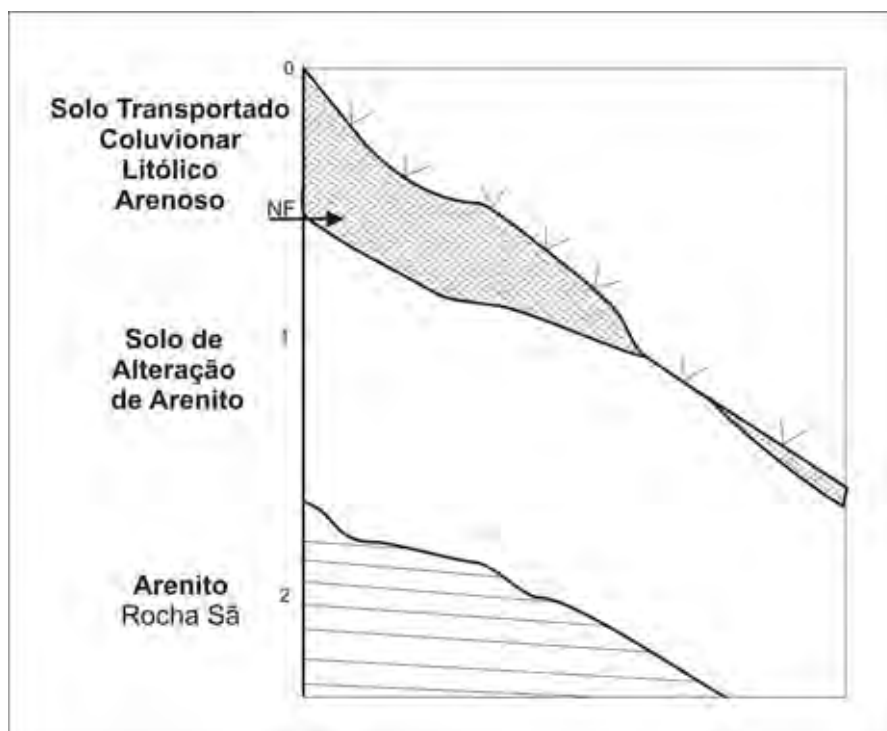
No reverso da cuesta, quando o basalto aflora nos fundos de vale, por ser um relevo mais suave o solo pode evoluir para um Argissolo Vermelho com a formação de um horizonte B textural, argiloso e espessura da ordem de 1 m a 2 m (Figura 4.8).



**Figura 4.8** – Perfil de alteração típico das escarpas da Serra de Botucatu

### **Perfil III – Vertentes íngremes dos arenitos**

Nas vertentes mais íngremes dos Arenitos Pirambóia e Botucatu, definidas por rupturas positivas muito marcantes no relevo, ocorrem perfis com predomínio de solos transportados coluvionares ou mesmo com rochas aflorantes, muito pouco desenvolvidos, pouco espessos (<0,5m), Neossolos Litólicos, de composição arenosa caracterizado pelo horizonte orgânico assentado diretamente sobre a rocha. Na porção mais baixa das vertentes onde ocorre a ruptura negativa, podem desenvolver-se depósitos de tálus e solos coluvionares mais espessos (Figura 4.9).

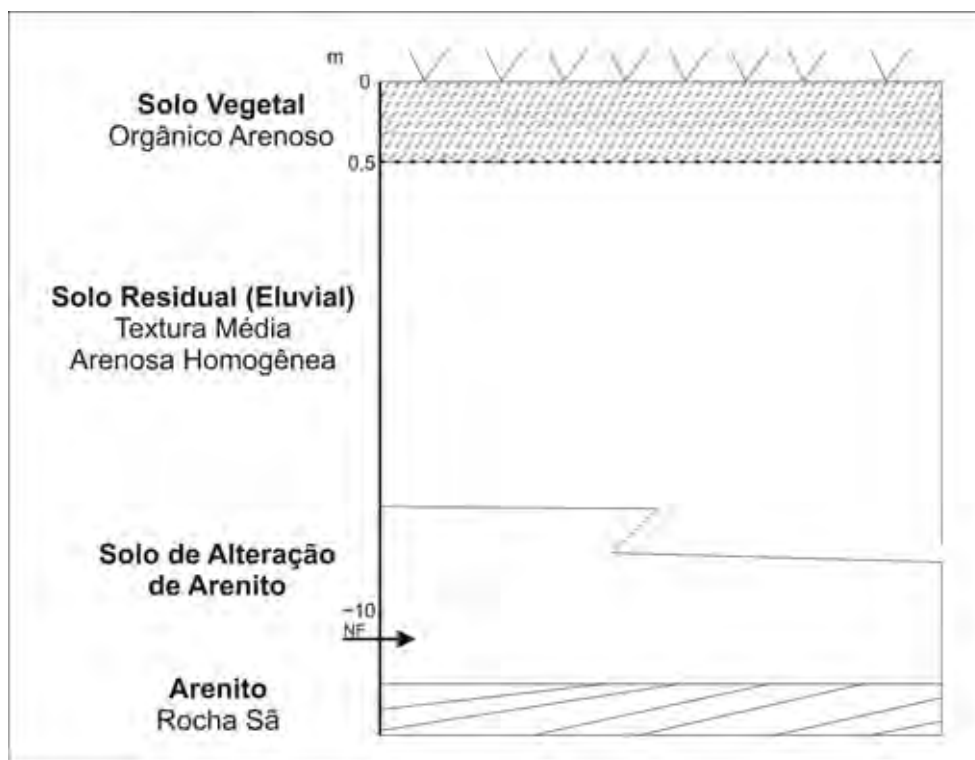


**Figura 4.9** – Perfil de alteração típico das vertentes íngremes dos arenitos

#### **Perfil IV – Topos de colinas dos arenitos**

O perfil IV é caracterizado por solos predominantemente residual, bem desenvolvido, com espessura variando entre 2m a 15m, com textura variando de arenosa a areno-argilosa e geralmente homogêneo em relação à cor e textura. No entanto, podem ocorrer solos transportados de origem da dissecação das cuestas. Formado principalmente por solos do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo, porém podem ocorrer também Neossolo Quartzarênico e Argissolo Vermelho-Amarelo. O horizonte superficial orgânico possui espessura variando de 20cm a 50cm. Estes solos estão dispostos sobre saprolitos das rochas arenosas com grau de intemperismo variado (Figura 4.10).

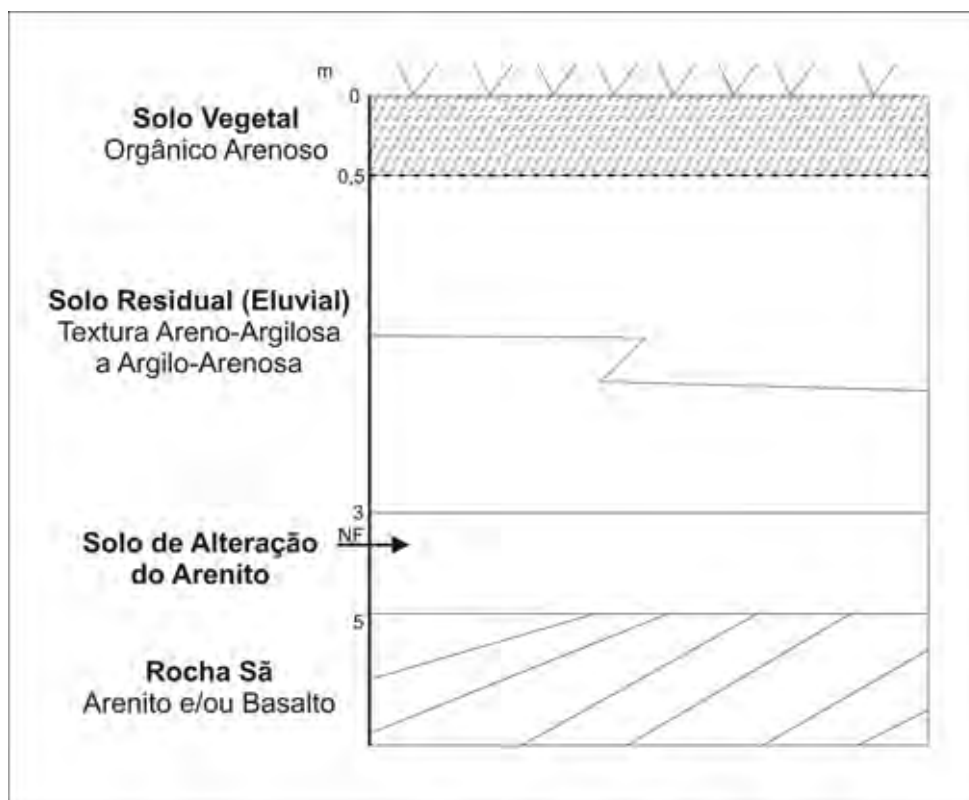




**Figura 4.10** – Perfil de alteração típico dos topos de colinas dos arenitos

#### **Perfil V – Arenitos do reverso da cuesta**

O perfil V é caracterizado por solos predominantemente residual, bem desenvolvido, com espessura variando entre 2m a 8m, com textura variando de areno-argilosa a argilo-arenosa e geralmente homogêneo em relação à cor e textura, podendo ocorrer solos coluvionares. A proximidade de contato com o basalto que encontra-se a aproximadamente 10 m de profundidade, define o maior teor de argila em relação aos arenitos da Depressão Periférica. Formado principalmente por solos do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo, porém podem ocorrer também o Latossolo Vermelho e Argissolo Vermelho-Amarelo. O horizonte superficial orgânico possui espessura variando de 20cm a 50cm. Estes solos estão dispostos sobre saprolitos das rochas arenosas e basálticas com grau de intemperismo variado (Figura 4.11).



**Figura 4.11** – Perfil de alteração típico dos arenitos no reverso da cuesta

#### 4.3.4 Unidades de terreno

Por meio dos levantamentos apresentados anteriormente (interpretação de fotografias aéreas, mapa de declividade dos terrenos e perfis típicos) definiu-se as unidades homogêneas de terreno para a escala de semi-detalhe. Foram identificadas cinco unidades principais, cujas particularidades de suas formas de relevo e suas características geológico-geotécnicas justificaram a sua individualização para a elaboração da carta geotécnica na escala 1:50.000 (Apêndice 05).

Foram definidas as seguintes unidades: Várzeas e fundos de vale, Cuesta da Serra de Botucatu, Vertentes íngremes dos arenitos e Topos das colinas dos arenitos.

#### Unidade I – Várzeas e fundos de vale

A Unidade I é caracterizada por extensas várzeas (planícies fluviais) e fundos de vale restritos de drenagens menores.

As planícies fluviais, variam de 20 a 700m de largura, com declividade entre 0 -3%, formadas por sedimentos Quaternários e depósitos de assoreamento Quinários. Os fundos de vale mais restritos possuem larguras menores e a declividade é semelhante às várzeas, porém a sua formação geológica é mais variada. Por vezes as características geológicas são

semelhantes às das planícies fluviais, mas em muitos casos encontram-se no mesmo contexto da formação geológica regional.

Além da declividade e das características geomórficas comuns, o que levou a considerar uma única unidade foi a caracterização do mesmo tipo de solo. Trata-se de solo aluvial e terraços fluviais que definem solos do tipo Gleissolos de cor cinza variada com intercalação de camadas orgânicas (turfa), com espessura variável.

Os terrenos possuem baixa capacidade de suporte a cargas e sujeita a recalques e afundamentos na superfície. Em geral, são locais onde podem ocorrer inundações e enchentes localizadas. Nas margens dos córregos podem ocorrer solapamentos de margem fluvial. Estes processos ocorrem principalmente em locais de retrabalhamento dos terraços fluviais e assoreamentos mais recentes, onde o canal fluvial busca um novo posicionamento devido a uma mudança qualquer imposta em seu regime hídrico. Devido à baixa declividade, também são áreas sujeitas a assoreamento proveniente de processos erosivos nas vertentes da bacia hidrográfica. Estes terrenos possuem muito alta vulnerabilidade a contaminação do aquífero, pois o lençol freático é muito raso ou até mesmo aflorante em alguns casos.

A principal drenagem desta unidade é o rio Alambari, no centro da área de estudo, com uma extensa planície aluvial e, também, ocorrem outras áreas em fundos de vale mais restritos.

Devem ser tomados cuidados especiais na execução das captações e condução da drenagem superficial e profunda da plataforma da pista, devido a baixa declividade e saturação do terreno. A baixa declividade favorece a deposição de sedimentos dentro do sistema de drenagem. A baixa capacidade de suporte pode vir a exigir uma condição especial de fundação para as obras de drenagem.

### **Unidade IIa – Cuesta da Serra de Botucatu**

A unidade II é definida pelas frentes das escarpas da Serra de Botucatu, feição também conhecida como cuesta.

A cuesta da Serra de Botucatu, possui desnível da ordem de 250m e declividade superior a 10%, porém com predomínio de declividades superiores a 20%. Ocorrem basaltos com pequenas intercalações de arenitos da Formação Botucatu. Os solos são geralmente coluviais, rasos (< 1m) do tipo Nossolo Litólico ou Cambissolo e, localizadamente, podem ocorrer depósitos de tálus.

A erosão ocorre na forma de sulcos e ravinas nas encostas, porém predominam os processos de escorregamento (escorregamento de solo, rolamento de blocos, queda de blocos, deslocamento de blocos e avalanche de detritos). Nestes locais a gênese dos processos de erosão e escorregamentos estão, por vezes, associados. Existem casos em que o escorregamento de encosta ocorre primeiramente deixando o solo desprotegido e favorecendo a instalação de sulcos ou ravinas. Também, existem casos em que ocorrem sulcos e ravinas com maior intensidade e que o seu aprofundamento leva à geração de escorregamentos nas encostas da serra.

Deve-se ter cuidado com a drenagem superficial que escoar sobre as encostas mais da Serra. O sistema de dissipação de energia deve ser revisto para que sejam evitados processos de escorregamento à jusante da plataforma da pista.

Deve-se também, prever a estabilização dos taludes de corte com medidas estruturais para evitar escorregamentos e queda de blocos.

### **Unidade IIb – Interior da cuesta na Serra de Botucatu**

A sub-unidade IIb é definida pela cuesta da Serra de Botucatu, no seu reverso, onde formam-se vales com fundos em basalto e os rios correm em direção às escarpas. As declividades dos terrenos são mais suaves e os processos de escorregamentos são pontuais.

Nestes vales a declividade é mais acentuada quando aparecem os basaltos na sua porção mais profunda. No entanto, predominam as declividades entre 10% e 20%, com pequenos trechos com declividades superiores a 20%.

Devido a declividade mais suave, os solos são um pouco mais espessos e evoluídos que a unidade IIa, podendo aparecer os Argissolos Vermelhos argilosos.

Feições de escorregamentos são observadas em pontos isolados, nas proximidades de rupturas do relevo onde existem cachoeiras e em vertentes mais íngremes. Nestes terrenos a suscetibilidade a processos de erosão é baixa.

### **Unidade III – Vertentes íngremes dos arenitos**

Formam esta unidade os Arenitos das Formações Pirambóia e Botucatu, nas suas vertentes mais íngremes definidas pelas rupturas positivas do relevo sobre estes tipos rochosos, na Depressão Periférica.

Nestas áreas predominam declividades acima de 20% e o desnível é de cerca de 40m a 150m. Os solos predominantemente são rasos (< 1m) Neossolos Litólicos, com ocorrência de Argissolos Vermelho-Amarelos de textura arenosa em porções mais suaves e paredes rochosas nas porções mais íngremes. São áreas extremamente suscetíveis à erosão, principalmente em cabeceiras de drenagem, onde se formam pequenas manchas de solos Gleissolos. Nos limites com a Unidade IV, existe um grande potencial de formação de erosão devido à ruptura positiva e mudança brusca do relevo, aumentando a declividade. Podem formar-se principalmente ravinas, além de vários tipos de escorregamentos.

A drenagem da rodovia proveniente da Unidade IV deve ser encaminhada até um ponto baixo nos córregos de jusante com dissipação adequada da energia da água.

#### **Unidade IV – Topos de colinas nos arenitos**

Arenitos das Formações Pirambóia, Botucatu e de Formações Terciárias na Depressão Periférica, e Arenitos Marília e também de Formações Terciárias no reverso da cuesta, em topos de colinas com declividade predominante entre 0-10%.

Ocorrem Latossolos Vermelho-Amarelo arenosos e, ocasionalmente, Neossolos Quartzarênicos. Tratam-se de solos lateríticos e também de origem coluvionar com espessura variando de 2m a 15m. São extremamente suscetíveis à erosão, principalmente nas cabeceiras de drenagem, onde localmente podem ocorrer solos Gleissolos ou Neossolos Flúvicos.

Quando o processo erosivo ocorre, pode atingir grandes proporções devido à textura arenosa do solo e à sua grande espessura. Na Depressão Periférica, nos limites com a Unidade III, existe um grande potencial de formação de erosão devido à ruptura positiva e mudança brusca do relevo, aumentando a declividade, principalmente nas cabeceiras de drenagem.

O sistema de drenagem deve ser planejado de modo a evitar qualquer concentração de fluxo superficial sobre o terreno desprotegido. As saídas do sistema devem ser projetadas de modo a levar as águas de forma organizada até locais onde exista estabilidade nos córregos de jusante com dissipação adequada.

#### **Unidade V – Arenitos no reverso da cuesta**

Arenitos da Formação Marília e de Formações Terciárias em topos de morro com declividade predominante entre 0-20%. No reverso da cuesta formam-se, predominantemente, solos lateríticos do tipo Latossolos Vermelho-Amarelo com textura arenosa-argilosa e com

textura argilosa-arenosa. Também ocorrem Latossolos Vermelho e Argissolos Vermelho-Amarelo.

A espessura desses solos varia de 2 m a 8 m, aproximadamente, sendo mais espesso nos topos das colinas e menos espesso nas suas vertentes. A espessura também é variável em função da espessura do pacote sedimentar sobre o basalto. Existem locais em que a cobertura do basalto é de somente 3 m a 4 m de rocha arenosa. Esta proximidade das rochas basálticas eleva a presença de argila no solo.

Quando o processo erosivo ocorre, pode atingir grandes proporções devido à textura do solo e à sua grande espessura, que varia de 2 m a 8 m e ao lençol freático que em alguns locais é bastante raso, cerca de 2 m de profundidade. A presença do lençol freático raso deve-se à interferência do basalto que funciona como uma camada impermeável abaixo do arenito. Nas situações em que existe um talude corte da rodovia e o lençol freático é interceptado, criam-se condições favoráveis ao desenvolvimento de processos erosivos.

O sistema de drenagem deve ser planejado de modo a evitar qualquer concentração de fluxo superficial sobre o terreno desprotegido. As saídas do sistema devem ser projetadas de modo a levar as águas de forma organizada até locais onde exista estabilidade nos córregos de jusante com dissipação adequada.

#### **4.3.5 Caracterização do impacto ambiental dos processos erosivos**

Nesta pesquisa o que será apresentado é a integração de vários métodos de avaliação de impacto ambiental, traduzidos por meio da análise e caracterização de impacto ambiental. Trata-se da análise de um empreendimento em operação de âmbito regional, cujos impactos puderam ser constatados no local, sendo que a análise refere-se a um único impacto (erosão) e, foi elaborado por um único técnico de uma área específica do conhecimento.

Desta forma, para cada uma das unidades dos terrenos foram analisados esses aspectos conforme apresentado na síntese do Quadro 4.3. A descrição da Caracterização de Impacto Ambiental - CIA é apresentada a seguir.

#### **CIA - Unidade I – Planícies aluviais e fundos de vale**

Os principais tipos de processos que podem ocorrer na Unidade I são: assoreamento, erosão por solapamento de margem fluvial e recalques. O assoreamento é resultado da deposição do material proveniente dos processos de erosão nos seus arredores.

Unidade Geotécnica	Tipo de impacto ambiental que ocorre	Magnitude do impacto ambiental	Tempo de duração do impacto ambiental	Alcance do impacto ambiental	Reversibilidade do impacto ambiental	Importância do impacto ambiental
I	Assoreamento	Alta	Longo	Regional	Parcialmente reversível irreversível <sup>a</sup>	Alta
	Solapamento de margem fluvial	Baixa	Longo	Regional	Irreversível	Baixa
IIa	Erosão por sulcos	Média	Longo	Regional	Irreversível	Média
IIb	Erosão por sulcos, ravinas e boçorocas	Baixa	Longo	Local	Parcialmente reversível	Baixa
III	Erosão por sulcos e ravinas	Alta	Longo	Regional	Irreversível	Alta
IV	Erosão por sulcos, ravinas e boçorocas	Alta	Longo	Regional	Parcialmente reversível irreversível <sup>a</sup>	Alta
V	Erosão por sulcos, ravinas e boçorocas	Média	Longo	Local	Parcialmente reversível irreversível <sup>a</sup>	Média

**Quadro 4.3** – Síntese da Caracterização de Impacto Ambiental - CIA

### *Assoreamento*

Impacto de **alta magnitude e significância**, pois ocorre nesta unidade que está inserida em áreas circundadas por terrenos de alta a muito alta suscetibilidade aos processos erosivos. As várzeas, fundos de vale e conseqüentemente os córregos da região, já se encontram impactados pelo assoreamento, como é o caso do principal deles, rio Alambari e suas planícies aluviais. Os municípios que circundam a área de estudo (Anhembi, Bofete, Pardinho e Botucatu) possuem seus sistemas de captação de água baseado exclusivamente por sistemas de captação de águas superficiais e, portanto, o impacto nos recursos hídricos superficiais pode vir em longo prazo comprometer os sistemas atuais.

Em alguns locais o assoreamento é observado na plataforma da pista ou nos acostamentos, gerando riscos aos usuários da rodovia e gerando alagamentos pontuais. O **alcance** deste impacto é regional, pois se observa que, em geral, os córregos da região encontram-se assoreados.

O **tempo** de duração do impacto do assoreamento é longo, pois trata-se de um processo natural do meio físico que está sendo acelerado por conta da ação humana. Observa-se que este impacto teve sua origem quando da construção da rodovia e ocorre de maneira

intensa durante sua operação, pois observa-se depósitos recentes relacionados aos processos erosivos oriundos dos taludes de corte e aterro.

Este impacto é **parcialmente reversível**, pois a partir do momento em que o material foi depositado nas várzeas, fundos de vale e corpos d'água, a sua retirada e recuperação destas áreas requer técnicas especializadas e de alto custo para a execução. No entanto, devido à intensidade do problema na região pode-se considerar como um impacto **irreversível**, pois a recuperação de todas essas áreas por meio da ação humana não será realizada. O que se observa nas áreas que estão impactadas pelo assoreamento mais antigo, é que elas entram em processo de re-equilíbrio, por meio da regeneração da vegetação e da retomada das condições hídricas dos corpos d'água.

No entanto, **medidas mitigadoras** podem ser adotadas para minimizar a ocorrência do impacto, no que se refere à rodovia. A primeira delas é a prevenção da erosão ao longo da rodovia evitando que novos processos de erosão sejam instalados nos seus taludes de corte e aterro (será tratado adiante no item de erosão). Também, é necessário evitar que o material transportado pelo sistema de drenagem da rodovia chegue aos corpos d'água e isto pode ser feito por meio da construção de caixas dissipadoras de energia e de retenção de sedimentos. A manutenção é fundamental para garantir o adequado funcionamento do sistema de drenagem e para garantir que novos processos erosivos não sejam instalados.

#### ***Solapamento de margem fluvial – erosão fluvial***

Impacto de **baixa magnitude e significância**, pois trata-se de um processo de erosão dentro de uma unidade onde predominam os processos de assoreamento. A sua ocorrência é pontual e, por conta da característica da maioria dos córregos (pequena vazão e velocidade) que atravessam a área de estudo os seus efeitos são apenas locais. Poderia ser considerado como um processo de alcance regional por proporcionar o transporte de sedimentos para locais mais distantes, para córregos de maior ordem e com maior capacidade de transporte. No entanto, não é um processo comum e sua **ocorrência é pontual e localizada** a algumas porções das várzeas.

Este processo forma-se em decorrência de alguma mudança no regime hídrico do curso d'água, podendo ser causada por diversos fatores, tais como: aumento ou redução do volume das águas, aumento no transporte de sedimentos, aumento do volume da água subterrânea, ou alteração do nível freático, etc.



Os taludes das margens fluviais, por conta de uma ou de mais razões citadas, perde a coesão na sua base gerando processos de escorregamento. O talude perde a resistência, rompe e escorrega em direção ao córrego. O material proveniente da instabilização é depositado no leito do córrego e posteriormente é carregado pela água para jusante. Por vezes, a água do córrego não possui vazão e energia suficiente para carrear o material, formando pequenos barramentos e até desvios do curso d'água.

Trata-se de um processo de retrabalhamento dos sedimentos depositados nas várzeas e fundos de vale, sejam eles Terciários, Quaternários, ou mais recentes.

Pode vir a afetar a rodovia nos locais de travessias de córregos, pontes e bueiros, onde o processo de solapamento pode vir a danificar essas estruturas. As saídas dessas estruturas de drenagem, alas e dissipadores de energia, podem vir a ser afetados pela evolução do solapamento. No entanto, não observou-se nenhuma estrutura de drenagem da rodovia danificada por esse tipo de processo.

O **tempo** de duração dos efeitos deste processo é geralmente longo em razão das características dos córregos da região. É um processo **irreversível**, pois trata-se de um processo natural que foi acelerado pela ação humana. No entanto, medidas preventivas podem ser adotadas no sistema de drenagem da rodovia para evitar que este processo seja causado pelo seu funcionamento, tais como a construção de dissipadores de energia e alas de bueiros adequados às condições locais.

### **CIA - Unidade IIa – Cuesta da Serra de Botucatu**

Os principais tipos de processos que podem ocorrer na unidade IIa são erosão por sulcos e ravinas, além de processos de escorregamento de solo, rolamento de blocos, queda e deslocamento de blocos e corrida de blocos.

#### ***Erosão (sulcos e ravinas)***

Impacto de **média magnitude e significância**, pois apesar de ocorrer na unidade de alta a muito alta suscetibilidade aos processos de escorregamento, é um processo bastante comum. São processos de erosão linear, porém rasos e que ocorrem em terrenos onde o solo é pouco espesso. Existem feições espalhados generalizadamente nas encostas da serra que foram desmatadas e encontram-se ocupadas por pastagens. Estão associadas à rodovia devido à falta de sistema de drenagem adequado que lança a água de forma desorganizada pela

encosta da serra. Ocorrem principalmente nos locais de aterro da rodovia e podem ter maior significância quando a sua evolução leva a formação de escorregamentos de solo.

O **tempo** de duração do impacto é longo, pois trata-se de um processo lento e natural do meio físico que está sendo acelerado por conta da ação humana. Quando evolui para um escorregamento, o processo passa a ter impacto imediato.

Este impacto é **irreversível**, pois a partir de sua formação, o material do solo é carregado para a jusante formando o assoreamento, deixando os sulcos abertos no local.

No que se refere à rodovia, no entanto, as **medidas mitigadoras** podem ser adotadas para minimizar a ocorrência do impacto, por meio da implantação de um sistema de drenagem adequado. Também, é necessário o plantio de espécies arbóreas na faixa de domínio à jusante da rodovia, para evitar o avanço do processo. A manutenção do sistema de drenagem é fundamental para garantir que novos processos erosivos não sejam instalados.

#### **CIA - Unidade IIb – Interior da cuesta da Serra de Botucatu**

A Unidade IIb caracteriza-se pela porção com relevo mais suave no contexto das escarpas da serra. São terrenos no reverso da cuesta, em fundos de vale, onde afloram os basaltos. Podem vir a ocorrer processos de erosão, apesar da suscetibilidade considerada de baixa a média.

##### ***Erosão***

Impacto de **baixa magnitude e significância**, pois os solos são arenosos e a suscetibilidade dos terrenos é baixa. A ocorrência de erosões nestes terrenos é pequena. Dificilmente um processo erosivo poderá comprometer a rodovia e a segurança dos usuários.

O **tempo** de duração do impacto é longo, pois trata-se de um processo lento e natural do meio físico que está sendo acelerado por conta da ação humana. Quando evolui para um escorregamento, o processo passa a ter impacto imediato.

Este impacto é **irreversível**, pois a partir de sua formação, o material do solo é carregado para a jusante formando o assoreamento, deixando os sulcos abertos no local.

#### **CIA - Unidade III – Vertentes íngremes dos Arenitos**

Os principais tipos de processos que podem ocorrer na unidade III são: erosão por sulcos e ravinas, processos de escorregamento de solo e deslocamento de blocos.

##### ***Erosão (sulcos)***

Impacto de **alta magnitude e significância**, pois apesar de ocorre em unidade de alta a muito alta suscetibilidade a erosão e a interação da rodovia com esta unidade é grande pelo grande número de erosões que ocorrem. É um processo de erosão linear, porém raso e que ocorrem em terrenos onde o solo é pouco espesso. Existem sulcos espalhados generalizadamente nas encostas desta unidade que foram desmatadas e encontram-se ocupadas principalmente por pastagens.

Estão associadas à rodovia apenas pelo fato da mesma sempre encontrar-se à montante desta unidade (nos topos de morro e divisores de água). Devido à falta de sistema de drenagem adequado, a rodovia lança a água de forma desorganizada pelas vertentes desta unidade. A erosão por sulco ocorre principalmente nos limites entre a unidade IV onde se encontra a rodovia e o início desta unidade.

O **tempo** de duração do impacto é longo, pois trata-se de um processo lento e natural do meio físico que está sendo acelerado por conta da ação humana. Quando evolui para um escorregamento, o processo passa a ter impacto imediato.

Este impacto é **irreversível**, pois a partir de sua formação, o material do solo é carregado para a jusante formando o assoreamento, deixando os sulcos abertos no local.

Com relação à rodovia, as **medidas mitigadoras** podem ser adotadas para minimizar a ocorrência do impacto, por meio da implantação de um sistema de drenagem adequado. A manutenção do sistema de drenagem é fundamental para garantir que novos processos erosivos não sejam instalados.

#### **CIA - Unidade IV – Topo de Colinas dos Arenitos**

Os principais tipos de processos que podem ocorrer na unidade IV são: erosões de grande porte do tipo ravinas e boçorocas. Os processos de erosão serão analisados em conjunto.

##### ***Erosão (ravinas e boçorocas)***

Impacto de **alta magnitude e significância**, pois ocorre nesta unidade onde predominam terrenos de muito alta suscetibilidade aos processos erosivos. Conforme os dados da interpretação de fotografias aéreas, a quantidade de feições de erosão por quilômetro quadrado é bastante alto, o que comprova a dimensão dos impactos pela erosão nestes terrenos. Também, a quantidade de passivos ambientais relacionados à rodovia, registrados no

cadastro, é muito significativo. Esses dados comprovam a vulnerabilidade do ambiente e a potencialidade da rodovia em desenvolver esses processos.

Outro fator que comprova o impacto gerado pela erosão são as várzeas, fundos de vale e conseqüentemente os córregos da região, que já encontram-se impactados pelo assoreamento.

Em alguns locais a evolução da erosão já atinge a plataforma da pista ou os acostamentos, gerando riscos aos usuários da rodovia e gerando destruição do sistema de drenagem. O **alcance** deste impacto é regional, pois observa-se que, em geral, a região como um todo encontra-se impactada.

O **tempo** de duração do impacto da erosão é longo, pois trata-se de um processo natural do meio físico que está sendo acelerado por conta da ação humana. Observa-se que este impacto teve sua origem quando da construção da rodovia e ocorre de maneira intensa durante sua operação, pois observa-se a instabilidade de vários taludes de corte e aterro.

Este impacto é **parcialmente reversível** se considerarmos a análise da rodovia, pois a partir do momento em que o material for retirado do maciço original, será depositado nas várzeas, fundos de vale e corpos d'água e, a sua retirada e recuperação destas áreas requer técnicas especializadas e de alto custo para a execução. Também, a recuperação das áreas onde os processos erosivos estão instalados requer intervenções de engenharia com obras estruturais e de arte corrente, por vezes de alto custo. No entanto, em ambas as situações as intervenções de engenharia podem levar o ambiente a uma situação de estabilidade.

No entanto, se formos considerar o assoreamento na região e as erosões que se formaram durante a construção e operação da rodovia devido à intensidade do problema, pode-se considerar como um impacto **irreversível**, pois a recuperação destas áreas por meio da ação humana é praticamente inviável. O que se observa nas áreas que estão impactadas tanto pela erosão quanto pelo assoreamento mais antigos, é que elas entram em processo de equilíbrio, por meio da regeneração da vegetação e da retomada das condições hídricas.

No que se refere à rodovia, **medidas mitigadoras** podem ser adotadas para minimizar a ocorrência do impacto. A primeira delas é a prevenção da erosão ao longo da mesma, evitando que novos processos de erosão sejam instalados nos seus taludes de corte e aterro. Devem-se considerar os dados oriundos da auditoria ambiental e ser realizado um planejamento de implantação de sistema de drenagem definitivo e adequado para a rodovia.

Não foi observado na drenagem da rodovia nenhum dispositivo de dissipação de energia da água, o que gera em todas as saídas de canaletas e sarjetas algum tipo de processo erosivo. Foi observado que são utilizadas apenas medidas paliativas de drenagem provisória, como bacias secas construídas em terra para a retenção do fluxo.

Todos os taludes necessitam ser revistos em termos de grau de inclinação, proteção superficial e sistema de drenagem, pois todos encontram-se com algum tipo de processo erosivo.

Também é necessário evitar que o material transportado pelo sistema de drenagem da rodovia chegue aos corpos d'água e isto pode ser feito por meio da construção de caixas dissipadoras de energia e de retenção de sedimentos. A manutenção é fundamental para garantir o adequado funcionamento do sistema de drenagem e para garantir que novos processos erosivos não sejam instalados.

#### **CIA - Unidade V – Arenitos no reverso da cuesta**

Os principais tipos de processos que podem ocorrer na unidade V são: erosão hídrica linear por sulcos, ravinas e boçorocas, além da erosão laminar que não será tratada nesta análise. Os processos de erosão linear serão analisados em conjunto.

##### ***Erosão (sulcos, ravinas e boçorocas)***

Impacto de **média magnitude e significância**, pois ocorre nesta unidade que está inserida em áreas definidas por terrenos de média suscetibilidade aos processos erosivos. Conforme os dados da interpretação de fotografias aéreas a quantidade de feições de erosão por quilômetro quadrado é bem menor do que dos arenitos da depressão periférica, o que comprova a menor suscetibilidade à erosão nestes terrenos. Também, a quantidade de passivos ambientais relacionados à rodovia registrados no cadastro, é muito menor ou quase inexistente. Esses dados comprovam uma vulnerabilidade intermediária do ambiente, porém com potencialidade da rodovia desenvolver esses processos.

O fator que define a média suscetibilidade dos terrenos é o incremento de argila no perfil do solo, provavelmente causada pela interferência dos basaltos.

Em alguns locais a erosão atinge os taludes da rodovia, levando material para a plataforma e acostamentos e gerando riscos aos usuários da rodovia. O **alcance** deste impacto é local, pois observa-se apenas em alguns taludes os problemas de erosão e o assoreamento

encontra-se em algumas baixadas onde não existe sistema de drenagem e a água fica empoçada.

O **tempo** de duração do impacto da erosão é longo, pois trata-se de um processo contínuo e que está ocorrendo nos taludes da rodovia sem que haja nenhuma providência.

Este impacto é **parcialmente reversível** se considerarmos a análise da rodovia, pois a partir do momento em que o material for retirado do maciço original, será depositado nas várzeas, fundos de vale e corpos d'água, e a sua retirada e recuperação destas áreas requer técnicas especializadas e de alto custo para a execução. Também, a recuperação das áreas onde os processos erosivos estão instalados requer intervenções de engenharia com obras estruturais e de arte corrente, por vezes de alto custo. No entanto, em ambas as situações as intervenções de engenharia podem levar o ambiente a uma situação de estabilidade.

**Medidas mitigadoras** podem ser adotadas para minimizar a ocorrência do impacto, no que se refere à rodovia. A primeira delas é a prevenção da erosão ao longo da rodovia evitando que novos processos de erosão sejam instalados nos seus taludes de corte e aterro. Devem-se considerar os dados oriundos da auditoria ambiental e ser realizado um planejamento de implantação de sistema de drenagem definitivo e adequado para a rodovia.

Não foi observado na drenagem da rodovia nenhum dispositivo de dissipação de energia da água, o que gera em todas as saídas de canaletas e sarjetas algum tipo de processo erosivo. Foi observado que são utilizadas apenas medidas paliativas de drenagem provisória, como bacias secas construídas em terra para a retenção do fluxo.

Os taludes necessitam ser revistos em termos de grau de inclinação, proteção superficial e sistema de drenagem, pois alguns encontram-se instáveis.

Também, é necessário evitar que o material transportado seja depositado ao longo da rodovia e chegue aos corpos d'água. Para tanto, é necessária a construção de um sistema de drenagem eficiente dotado de caixas dissipadoras de energia e de retenção de sedimentos. A manutenção é fundamental para garantir o adequado funcionamento do sistema de drenagem e para garantir que novos processos erosivos não sejam instalados.

#### **4.3.6 Análise dos resultados da etapa de semi-detelhe**

Os resultados obtidos com os produtos dos estudos de semi-detelhe foram fundamentais para a caracterização da área de estudo e conhecimento dos componentes do meio físico e dos impactos ambientais existentes e potenciais ao longo da rodovia. Foi

possível, por meio da elaboração da carta geotécnica, uma melhor caracterização do impacto ambiental. Também, por conta do método utilizado, foram levantadas as feições de erosão na área de estudo e ao longo da rodovia, o que facilitou a caracterização do impacto ambiental.

A definição dos limites das unidades homogêneas do terreno, atrelada ao levantamento das feições de erosão que estão associadas ou não à rodovia e dos estudos realizados para a definição da suscetibilidade dos terrenos, levou a identificação e caracterização dos impactos ambientais com maior precisão. O levantamento das erosões associadas a rodovia identificou as áreas com os impactos existentes, sendo possível avaliar a situação atual da rodovia e o contexto em que ela se encontra.

Com essas ferramentas foi possível o desenvolvimento do instrumento de caracterização de impacto ambiental como subsídio à gestão ambiental da rodovia. A avaliação de impacto ambiental utilizou dos dados provenientes da etapa dos estudos regionais e dos dados provenientes da elaboração da carta geotécnica. Foi possível analisar a extensão do impacto nos recursos hídricos, bem como a magnitude do impacto.

Desta forma, com base na avaliação de impacto ambiental, também foi possível delinear um plano de monitoramento por meio da análise da diferença de potencial de impacto dos terrenos de cada uma das unidades. No entanto, para a estruturação geral do plano de monitoramento, os dados da auditoria ambiental e do cadastro de passivos ambientais são fundamentais para a definição das áreas que serão alvo de análise periódica. Com os dados da caracterização de impacto ambiental apenas foi possível definir o tipo de monitoramento e periodicidade das vistorias para cada uma das unidades de terreno.

Com relação ao instrumento de gerenciamento de áreas degradadas, foi realizado apenas o reconhecimento em fotografias aéreas, ou seja, as feições de erosão foram apenas identificadas e localizadas, sem serem descritas. Dependendo do interesse e da necessidade do órgão rodoviário é possível com estes dados esboçar um plano genérico de monitoramento, porém com muitas limitações e lacunas.

Desta forma, o desenvolvimento de um plano completo para a recuperação de áreas degradadas não pôde ser desenvolvido com os dados desta etapa da pesquisa, pois não foram suficientes. Para a otimização no desenvolvimento desse instrumento, foi necessário um maior detalhamento dos estudos por meio do cadastro detalhado dos passivos ambientais e da caracterização da infra-estrutura de drenagem da rodovia.

Também, na escala 1:50.000 ficou pouco ilustrativa a representação gráfica das áreas de preservação permanente – APPs<sup>10</sup>. A representação destas áreas é importante para a identificação de locais protegidos por lei e que necessitam de condições especiais para a intervenção. Desta forma, foi definido que a elaboração de um produto cartográfico em escala compatível com a representação destas áreas seria necessário. A escala selecionada para o detalhamento dos estudos foi 1:10.000.

O maior detalhamento dos estudos para o desenvolvimento das ferramentas de auditoria ambiental e recuperação de áreas degradadas não dependem da elaboração de uma carta geotécnica em maior detalhe, pois são produtos independentes.

No entanto, foi proposta a realização de um teste em trecho piloto na escala 1:10.000, para a comparação entre os resultados das cartas geotécnicas e verificação se o instrumento de caracterização de impacto ambiental poderia ser enriquecido. Será realizada uma análise sobre a real necessidade de elaboração de um produto na escala de detalhe.

#### **4.4 Estudos de Detalhe**

Em razão da necessidade de complementação dos estudos em maior detalhe para a obtenção de dados que pudessem embasar os instrumentos de recuperação de áreas degradadas e do monitoramento ambiental, foram planejados os levantamentos por meio da auditoria ambiental e de cadastro de passivos ambientais. Os resultados destes trabalhos estão apresentados em banco de dados de registro de passivos ambientais, nas fichas de auditoria ambiental da drenagem e em carta topográfica na escala 1:10.000, sendo que a análise será apresentada a seguir.

##### **4.4.1 Fotointerpretação para os estudos de detalhe**

A fotointerpretação foi realizada utilizando-se do mesmo método para a escala de semi-detalhe visando a compartimentação dos terrenos.

Para a compartimentação dos terrenos a fotointerpretação realizada na mesma escala da etapa anterior (1:30.000), tendo como base as feições do relevo para a individualização das unidades.

---

<sup>10</sup> Resolução CONAMA N° 303, de 20 de Março de 2002



Primeiramente, foram individualizadas as unidades referentes às várzeas, desde as mais extensas até aquelas em fundos de vale mais encaixados. Foram também levantadas as unidades relacionadas às escarpas, sendo estas diferenciadas entre as escarpas da Serra e as escarpas interiores da Depressão Periférica (arenitos).

Restaram apenas áreas relacionadas às vertentes menos declivosas e aos topos das colinas. A diferença em relação à etapa anterior é que a unidade IV foi subdividida por meio do mapeamento de rupturas positivas nas vertentes que evidenciavam alguma descontinuidade. Foram definidas uma unidade nos topos de colinas e outra nas vertentes menos íngrimes das colinas nos domínios dos arenitos. Esta diferenciação em relação à etapa anterior foi possível por conta da escala de apresentação e das investigações anteriormente realizadas.

Foram interpretadas 9 (nove) feições de erosão nos 5,67 quilômetros quadrados da área de estudo, o que resulta numa concentração de 1,59 erosão por quilômetro quadrado, conforme apresentado no mapa de feições erosivas apresentado na escala 1:13.000 (Apêndice 09). Destas, 5 (cinco) feições estão relacionadas à rodovia, ou seja, 55 % das erosões da área de estudo foram causadas pela mesma, o que é muito semelhante com a análise na escala 1:50.000. A concentração destas erosões em 5,69 quilômetros de rodovia é de 0,87 erosões por quilômetro, o que também assemelha-se aos dados da análise na escala 1:50.000.

Com o Quadro 4.4 pode-se tentar manter uma relação entre a carta geotécnica de suscetibilidade à erosão na escala 1:10.000 e a concentração das feições. Assim como foi feito para a escala 1:50.000, estão apresentados: a área ocupada pelas unidades geotécnicas, o número de feições de erosão por unidade geotécnica, o índice de concentração de erosões por unidade, a dimensão da rodovia dentro de cada uma das unidades e o índice de erosões relacionadas à rodovia dentro de cada unidade.

Os maiores índices de concentração de erosão estão relacionados às Unidades IIa e III, escarpas da Serra de Botucatu e escarpas internas nos arenitos, assim como na análise da escala 1:50.000. Estes índices maiores devem-se principalmente ao relevo com maior inclinação das vertentes, que formam processos de ravinamentos mais intensos e escorregamentos.

A Unidade VI possui índice de concentração de erosão um pouco menor que a média da área de estudo. No entanto, as feições de erosão observadas nestes terrenos são as de maior porte, mais graves e de maior poder de destruição.

O baixo índice de concentração de erosão era esperado nas Unidades I, IV e V. A baixa declividade dos terrenos favorecem a não ocorrência à erosão.

Para os processos relacionados à rodovia observa-se que nas escarpas da Serra de Botucatu existe um índice alto de ocorrência de feições também observada nas vertentes em arenitos. Nas outras unidades o restrito universo da análise não detectou feições de erosão relacionadas à rodovia.

Dados Unidades Geotécnicas	Área das unidades geotécnicas em km <sup>2</sup>	Números de feições de erosão fotointerpretadas por unidade geotécnica	Índice de concentração de erosões por km <sup>2</sup> de cada unidade	Extensão da rodovia em km dentro de cada unidade	Número de feições de erosão relacionada à rodovia	Índice de concentração de erosão relacionada à extensão em km de rodovia
Unidade I – Várzeas e fundos de vale	0,61	0	0,0	0,517	0	0,0
Unidade IIa – Cuesta da Serra de Botucatu	1,03	3	2,92	1,644	3	1,82
Unidade III – Vertentes íngremes dos arenitos	1,58	4	2,54	1,200	0	0,0
Unidade IV – Topos de colinas nos arenitos	0,57	0	0,0	1,218	0	0,0
Unidade V – Arenitos no reverso da cuesta	0,10	0	0,0	0	0	0,0
Unidade VI – Vertentes em arenitos	1,78	2	1,12	1,111	2	1,80

**Quadro 4.4** – Índices de concentração de feições de erosão por área das unidades (km<sup>2</sup>) na escala 1:10.000 e por extensão da rodovia (km)

#### 4.4.2 Estudos cartográficos para a escala de detalhe

Os estudos cartográficos resultaram no mapeamento de Áreas de Preservação Permanente – APP (Apêndice 06) e no mapa de declividades do terreno (Apêndice 07).

Os intervalos utilizados foram redefinidos por tratar-se de uma análise de maior detalhe e com base na interpretação das fotografias aéreas, assim sendo: 0% - 3%, 3% - 9 %, 9% - 15%, 15% - 45% e > 45%, com base nos mesmos critérios do levantamento na escala 1:50.000.

O intervalo 0% - 3% refere-se aos locais mais suaves, onde ocorrem planícies fluviais ou topos de colinas. Nas planícies fluviais predominam solos transportados aluvionares e terraços fluviais, onde ocorrem solos do tipo Gleissolos e repetem a Unidade I da carta na escala 1:50.000. São áreas onde podem ocorrer processos erosivos de solapamento de margem fluvial, inundação e assoreamento.

Nos topos de colinas com essa declividade os solos são muito espessos e homogêneos, geralmente residuais, repetindo em parte a Unidade IV e V da carta na escala 1:50.000, dependendo do contexto. Formam-se processos erosivos de grande porte em cabeceiras de drenagem de 1ª ordem.

Entre 3% - 9% estão as vertentes de colinas menos declivosas que estão relacionadas às Unidades IV e V da carta na escala 1:50.000. Ocorrem solos espessos e homogêneos, por vezes residuais ou transportados (coluviais), geralmente dos tipos Latossolo e Argissolo. Formam-se processos erosivos de grande porte em cabeceiras de drenagem de 1ª ordem.

Já no intervalo de 10% - 15% ocorrem os solos residuais, porém predominam os solos transportados coluvionares, do tipo Argissolo, onde existe um horizonte B com um nível de argila mais pronunciado. Nestes locais formam-se principalmente, processos do tipo ravinhas e boçorocas. Para o intervalo de 15% - 20% ocorrem os solos geralmente transportados coluvionares, do tipo Argissolo, no entanto podem ocorrer Cambissolos. Nestes locais formam-se processos de ravinamentos mais intensos.

Entre a declividade de 10% e 20% foi definida uma nova unidade, devido à diferenciação dos processos e ao tipo de solo predominante, chamada de Unidade VI – Vertentes em arenitos.

Entre 20% - 45% ocorrem solos pouco desenvolvidos, transportados coluvionares, pouco espessos, predominando Cambissolos e pequenas manchas de Neossolos Litólicos, por vezes intercalados com depósitos de tálus, relacionados às Unidades II e III da carta na escala 1:50.000. Os processos predominantes são de ravinamentos intensos e movimentos gravitacionais de massa.

Acima de 45% os solos são muito pouco desenvolvidos, predominando solos Neossolos Litólicos e rochas aflorantes, relacionados às Unidades II e III da carta na escala 1:50.000. Ocorrem predominantemente processos de movimentos gravitacionais de massa e ravinamentos intensos.

O levantamento e identificação das APPs em mapa, foi realizado por meio da definição da equidistância de 30m do nível mais alto de cada uma das margens dos rios e das escarpas com declividade superior a 45°, mais 100 m no seu reverso.

A área de estudo da rodovia na escala 1:50.000 atravessa dez áreas de preservação permanente referentes a córregos e uma área referente à Serra de Botucatu. A área de APP mais expressiva em relação a córregos é do rio Alambari, uma extensa planície com mais de 300m de extensão que encontra-se na Depressão Periférica, no centro da área de estudo.

Na área piloto dos estudos na escala 1:10.000 são atravessadas pela rodovia cinco APPs de córregos e a APP da Serra de Botucatu.

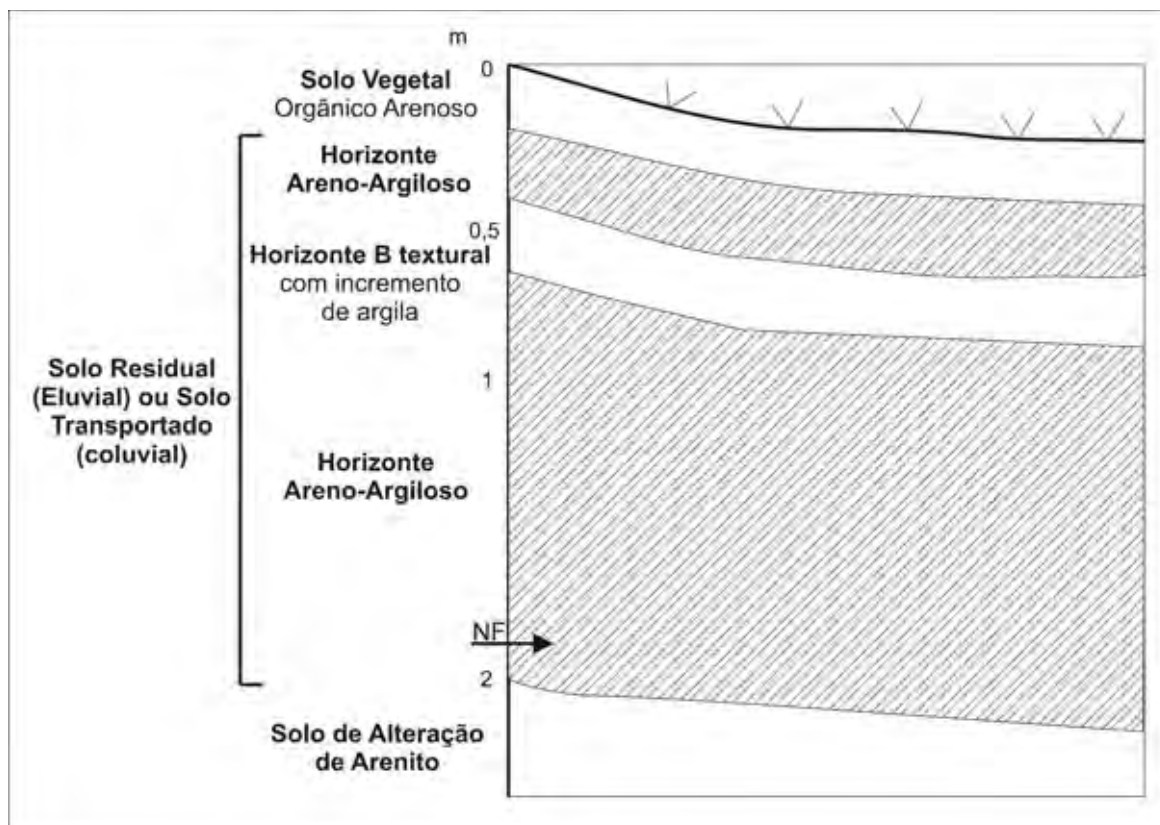
#### **4.4.3 Perfil e unidade do terreno na escala de detalhe**

Em relação ao levantamento realizado na escala 1:50.000, foi definida apenas uma nova unidade caracterizada pelos terrenos de **vertentes em arenitos**, a partir do desmembramento das unidades III e IV. As outras unidades foram mantidas, obviamente com alguns ajustes com relação ao seu traçado devido ao detalhamento da escala.

As **vertentes em arenitos, unidade VI**, foram definidas a partir da primeira ruptura positiva do relevo, a partir do topo, até os fundos de vale ou até a ruptura mais pronunciada das escarpas internas dos arenitos. A declividade predominante nestes terrenos varia entre 10% e 15%, podendo ocorrer pequenas áreas com declividade superiores, conforme apresentado na carta geotécnica apresentada na escala 1:10.000 (Apêndice 08).

Nesta unidade ocorrem declividades predominantemente entre o intervalo de 10% e 20%. São áreas onde os solos são geralmente coluvionares, porém podem ocorrer solos residuais, com predomínio de Argissolos Vermelho-Amarelos, areno-argilosos, com espessura que variam de 1m a 4m (Figura 4.12). Podem ocorrer áreas reduzidas com Latossolos Vermelho-Amarelos, Neossolos Quartzarênicos e Neossolos Cambissolos. Ocorre um horizonte orgânico superficial com aproximadamente 30cm de espessura e um nível enriquecido em argila (horizonte B) a cerca de 50 cm de profundidade com uma espessura de aproximadamente 20 cm. Estes solos predominam nas declividades entre 10% e 15%, entre os topos das colinas e os fundos de vale. Para o intervalo de 15% - 20% ocorrem os solos geralmente coluvionares, do tipo Argissolo, no entanto podem ocorrer Cambissolos.

São áreas onde ocorre uma intensa erosão laminar que evolui formando sulcos, porém os processos lineares predominantes são de grande porte, como, ravinhas e boçorocas.



**Figura 4.12** – Perfil típico da Unidade de Vertentes dos Arenitos

#### 4.4.4 Caracterização do impacto ambiental - Unidade IV – Vertentes em arenitos

Os principais tipos de processos que podem ocorrer na unidade IV são: erosões de grande porte do tipo ravinas e boçorocas.

##### *Erosão por ravinas e boçorocas*

Impacto de **alta magnitude e significância**, pois ocorre nesta unidade onde predominam terrenos de muito alta suscetibilidade aos processos erosivos. Conforme os dados da interpretação de fotografias aéreas a quantidade de feições de erosão por quilômetro quadrado é bastante alto, o que comprova a dimensão dos impactos pela erosão nestes terrenos.

O número de passivos ambientais relacionados à rodovia, registrados no cadastro, é muito significativo.

Esses dados comprovam a vulnerabilidade do ambiente e a potencialidade da rodovia em desenvolver esses processos. Outro fator que comprova o impacto gerado pela erosão são as várzeas, fundos de vale e conseqüentemente os córregos de jusante, que encontram-se impactados pelo assoreamento.

Em alguns locais a evolução da erosão já atinge a plataforma da pista ou os acostamentos, gerando riscos aos usuários da rodovia e gerando destruição do sistema de drenagem. O **alcance** deste impacto é regional, pois observa-se que, em geral, a região como um todo encontra-se impactada.

O **tempo** de duração do impacto da erosão é longo, pois trata-se de um processo natural do meio físico que está sendo acelerado por conta da ação humana. Observa-se que este impacto teve sua origem quando da construção da rodovia e ocorre de maneira intensa durante sua operação, pois observa-se a instabilidade de vários taludes de corte e aterro.

Este impacto é **parcialmente reversível** se considerarmos a análise da rodovia, pois a partir do momento em que o material for retirado do maciço original, será depositado nas várzeas, fundos de vale e corpos d'água e, a sua retirada e recuperação destas áreas requer técnicas especializadas e de alto custo para a execução. Também, a recuperação das áreas onde os processos erosivos estão instalados requer intervenções de engenharia com obras estruturais e de arte corrente, por vezes de alto custo. No entanto, em ambas as situações as intervenções de engenharia podem levar o ambiente a uma situação de estabilidade.

No entanto, se formos considerar o assoreamento na região e as erosões que se formaram durante a construção e operação da rodovia, devido à intensidade do problema, pode-se considerar como um impacto **irreversível**, pois a recuperação destas áreas por meio da ação humana é praticamente inviável. O que se observa nas áreas que estão impactadas tanto pela erosão quanto pelo assoreamento mais antigos, é que elas entram em processo de equilíbrio, por meio da regeneração da vegetação e da retomada das condições hídricas.

No que se refere à rodovia, **medidas mitigadoras** podem ser adotadas para minimizar a ocorrência do impacto. A primeira delas é a prevenção da erosão ao longo da mesma, por meio da implantação de sistema de drenagem adequado e proteção superficial dos taludes, evitando que novos processos de erosão sejam instalados. Devem-se considerar os dados oriundos da auditoria ambiental e ser realizado um planejamento de implantação de sistema de drenagem definitivo e adequado.

Não foi observado na drenagem da rodovia nenhum dispositivo de dissipação de energia da água, o que gera em todas as saídas de canaletas e sarjetas algum tipo de processo erosivo. Foi observado que são utilizadas apenas medidas paliativas de drenagem provisória, como bacias secas construídas em terra para a retenção do fluxo.

Todos os taludes necessitam ser revistos em termos de grau de inclinação, proteção superficial e sistema de drenagem, pois todos encontram-se com algum tipo de processo erosivo.

Também é necessário evitar que o material transportado pelo sistema de drenagem da rodovia chegue aos corpos d'água e isto pode ser feito por meio da construção de caixas dissipadoras de energia e de retenção de sedimentos. A manutenção é fundamental para garantir o adequado funcionamento do sistema de drenagem e que novos processos erosivos não sejam instalados.

A seguir é apresentado um novo quadro de caracterização do impacto ambiental (Quadro 4.5), com todas as unidades presentes na carta geotécnica na escala 1:10.000. Houve mudanças na análise da unidade III, em razão do distanciamento desta unidade em relação à rodovia, devido à definição da nova unidade VI Vertentes em Arenitos.

Unidade Geotécnica	Tipo de impacto ambiental que ocorre	Magnitude do impacto ambiental	Tempo de duração do impacto ambiental	Alcance do impacto ambiental	Reversibilidade do impacto ambiental	Importância do impacto ambiental
I	Assoreamento	Alta	Longo	Regional	Parcialmente reversível irreversível <sup>a</sup>	Alta
	Solapamento de margem fluvial	Baixa	Longo	Regional	Irreversível	Baixa
II	Erosão por sulcos	Média	Longo	Regional	Irreversível	Média
III	Erosão por sulcos e ravinas	Média	Longo	Regional	Irreversível	Média
IV	Erosão por sulcos, ravinas e boçorocas	Alta	Longo	Regional	Parcialmente reversível irreversível <sup>a</sup>	Alta
V	Erosão por sulcos, ravinas e boçorocas	Média	Longo	Local	Parcialmente reversível irreversível <sup>a</sup>	Média
VI	Erosão por sulcos, ravinas e boçorocas	Alta	Longo	Regional	Parcialmente reversível irreversível <sup>a</sup>	Alta

**Quadro 4.5**– Síntese da Caracterização de Impacto Ambiental – CIA com base nos estudos de detalhe

#### 4.4.5 Auditoria ambiental

Foram cadastrados cinco equipamentos de drenagem em aproximadamente cinco quilômetros de rodovia (Quadro 4.6 e Apêndice 9).

Para estas áreas foi feito um ensaio sobre os equipamentos de infra-estrutura de drenagem considerada ideal para a estabilização e prevenção da erosão, com uma estimativa de custos de implantação.

Os locais considerados mais críticos são: 1º entre o km 233 e 234 (erosão nos arenitos), 3º no km 235 (erosão nos arenitos) e o 5º entre o km 236 e 238 (escorregamentos na serra).

No **primeiro** deles entre o km 233+000 ao 234+000, o sistema de drenagem encontra-se com várias situações distintas. Trata-se de uma grande rampa com 10 % de declividade e 1km de extensão onde existe canaletas de ambos os lados, com saídas a cada 50 m aproximadamente, porém sem nenhum dispositivo de dissipação. As canaletas encontram-se sujas, com crescimento de mato no seu interior e com porções que necessitam de pequenos reparos no concreto. Em alguns locais as canaletas estão interrompidas, aterradas, para a construção de acesso de veículos a propriedades lindeiras de terceiros.

Próximo ao km 233+300 até 233+500, a canaleta do lado esquerdo encontra-se parcialmente destruída necessitando de intervenção imediata para recuperar o seu funcionamento.

As saídas de drenagem das canaletas lançam as águas para o interior de bacias secas, que são construídas em seqüência com um volume estimado de cerca de 5m<sup>3</sup> cada uma. São aproximadamente cinquenta bacias secas de cada um dos lados da rodovia. Este dispositivo de drenagem provisória foi perpetuado neste trecho de rodovia gerando um grande risco aos usuários em caso de acidentes.

Entre o km 233+700 e 234+000 é necessária a construção de canaleta do lado direito, pois a contribuição de água é significativa e não existe drenagem no local. Neste trecho, do lado esquerdo, o sistema de drenagem funciona muito bem.

As soluções propostas estão relacionadas à complementação do sistema de drenagem por meio da construção de novas canaletas, re-construção de alguns trechos de canaletas, implantação dos dissipadores e das caixas de retenção de sedimentos, retirada e aplainamento das bacias secas e plantio de grama.

O **segundo** sistema de drenagem não existe e, refere-se ao trecho entre o km 234+600 e 234+800, onde no topo da colina inexistente saída de água e esta acumula-se sobre a



plataforma e acostamentos. É necessária a construção de canaletas laterais à pista com as saídas equipadas com dissipadores de energia.

Número do Sistema de drenagem	Km inicial do sistema de drenagem	Km final do sistema de drenagem	Análise da situação do sistema de drenagem	Análise de risco da situação do sistema de drenagem	Necessidade de itens para recuperação ou implantação do sistema de drenagem	Custo estimado das unidades dos itens de drenagem R\$	Custo estimado dos conjuntos de itens de drenagem R\$
1	233+000	234+000	Existente Insatisfatória Precária	Risco médio à erosão e risco alto de acidentes	400 m de canaleta	125,00	50.000,00
					20 dissipadores	600,00	12.000,00
					5.000 m <sup>3</sup> mov terra	35,00	175.000,00
					5.000 m <sup>2</sup> proteção grama	5,00	25.000,00
					20 caixas de retenção de sedimentos	750,00	15.000,00
<b>Total</b>							R\$277.000,00
2	234+600	234+800	Inexistente	Risco médio de alagamento e risco médio de acidentes	200 m de canaleta	125,00	25.000,00
					02 dissipadores	600,00	1.200,00
					200 m <sup>3</sup> mov. terra	35.000	7.000,00
<b>Total</b>							R\$33.200,00
3	235+000	235+150	Existente Insatisfatória Parcialmente destruída	Risco muito alto à erosão que pode comprometer a plataforma da rodovia e risco médio de acidentes	150 m de canaletão	320,00	48.000,00
					02 dissipadores	600,00	1.200,00
					02 escadas hidráulicas	5.000,00	10.000,00
					5.000 m <sup>3</sup> mov. terra	35,00	175.000,00
					5.000 m <sup>2</sup> proteção-grama	5,00	25.000,00
<b>Total</b>							R\$259.200,00
4	235+500	235+700	Inexistente	Risco médio de acidentes	100 m de canaleta	125,00	12.500,00
					01 dissipador	600,00	600,00
					100 m <sup>3</sup> mov. terra	35,00	3.500,00
<b>Total</b>							R\$16.600,00
5	236+000	238+000	Inexistente	Risco alto de erosão e risco alto de acidentes	1.000 m de canaleta	105,00	105.000,00
					06 dissipadores	1.200,00	7.200,00
					1.000 m <sup>3</sup> mov. terra	35,00	35.000,00
					1.000 m <sup>2</sup> de proteção grama	5,00	5.000,00
<b>Total</b>							R\$152.200,00
<b>Total Geral</b>							R\$738.200,00

**Quadro 4.6** – Resultado financeiro da auditoria ambiental do sistema de drenagem

O **terceiro** sistema de drenagem é o que mais risco apresenta à plataforma da rodovia. Trata-se de cerca de cento e cinquenta metros de canaleta no topo da colina, somente do lado direito da rodovia, no limite com as escarpas internas dos arenitos, entre o km 235+000 ao 235+150. A canaleta encontra-se comprometida devido a afundamentos. Existem duas saídas, uma em um rápido com cerca de 4 m de desnível, lançando a água no meio da encosta, sem dissipação e, outra em uma pequena caixa (0,5 m x 0,5 m x 0,2 m) com um tubo de 4 polegadas de saída. Nota-se que estas saídas não são suficientes, pois percebe-se que acumula água no local e que a sujeira dificulta o escoamento de água por essas saídas.

É um local com processos erosivos à jusante e observa-se que o acostamento já foi afetado, pois existem abatimentos e trincas.

A área precisa de uma recuperação geral, por meio da re-construção do aterro e do sistema de drenagem. Faz-se necessária a re-construção do aterro depois do canaletão, das saídas de drenagem por meio da implantação de escadas hidráulicas, da implantação de dissipadores adequados e do plantio de grama.

O **quarto** sistema de drenagem encontra-se entre o km 235+500 e 235+700, onde observa-se o escoamento contínuo de água proveniente de um talude (mina d'água) e esta escorre na plataforma, atravessando a pista. É necessária a implantação de canaleta com saída adequada em toda a lateral direita da rodovia neste trecho.

No trecho de serra, o **quinto** trecho de drenagem, desde o km 236+000 até o km 238+000 não existem canaletas laterais. Existe apenas a defesa em concreto (*new jersey*) do lado esquerdo da rodovia, com saídas a cada 20 m e seis bueiros que atravessam a pista (236+750, 236+900, 237+200, 237+450, 237+600 e 237+900). As saídas da defesa encontram-se sujas, por vezes entupidas e lançam a água sobre o terreno natural. Os bueiros são todos do lado direito da pista e possuem apenas 1 m de canaleta na sua entrada, compostos por uma caixa de 1 m<sup>2</sup> com cerca de 80 cm de profundidade e grelha em concreto. Estes bueiros lançam as águas sobre o terreno natural sem nenhum dispositivo de dissipação. Nos locais de lançamento dos bueiros, observa-se a formação de processos erosivos em plena serra.

É necessária a construção de canaletas em todo o trecho e a construção de dissipadores de energia nas saídas dos bueiros, bem como a limpeza e manutenção constante das saídas de água da defesa.

Os investimentos previstos para a realização das obras de melhorias nos cinco sistemas de drenagem foram elaborados com base na Tabela de Preços Unitários - TPU do DER/SP de março de 2008. O ensaio sobre os investimentos foi realizado apenas com base nas observações do local. Não foi realizado sobre um projeto executivo e por isso é apenas ilustrativo, para se ter uma ordem de grandeza.

Sugere-se a priorização das intervenções, visando a prevenção da erosão e minimização dos riscos pelas seguintes áreas: 3, 5, 1, 4 e 2. Apesar de os custos serem os mais expressivos nas áreas 3 e 5, são as que oferecem risco alto de destruição para a plataforma da pista e, conseqüentemente, de interrupção do tráfego. A área 1 oferece risco principalmente à formação de erosão, mas também de acidente aos usuários por conta da existência de bacias secas na lateral da pista. As outras áreas, 4 e 2, são problemas de presença de água na plataforma da pista e que podem ter medidas paliativas antes da implantação de sistemas definitivos.

#### **4.4.6 Recuperação de áreas degradadas**

Foram registrados 24 passivos ambientais relacionados à erosão, cujas fichas de cadastro estão apresentadas no Apêndice 3, distribuídos em 33 quilômetros de rodovia, o que indica uma concentração de 0,72 passivo por quilômetro. O índice é muito alto se comparado ao índice de 1 (um) passivo a cada 10 (dez) quilômetros de rodovia apresentado em DER (2006b). Dois fatores foram considerados como prováveis causas do expressivo resultado:

- Diferença de método de levantamento. No levantamento apresentado pelo DER (2006b) os passivos ambientais foram registrados apenas com visitas de campo, enquanto nesta pesquisa, os passivos foram previamente levantados por fotografias aéreas para posteriormente ser realizado o levantamento de campo; e/ou
- A área de estudo encontra-se sobre terrenos de muito alta suscetibilidade à erosão, o que pode ter causado uma anomalia estatística na concentração de passivos ambientais, o chamado “efeito pepita” (LANDIM, 2003).

Dentre os passivos ambientais cadastrados existem áreas lançadas em apenas um cadastro que possuem mais de uma feição de erosão identificada. Desta forma, as 24 feições de erosão identificadas estão apresentadas em apenas 18 fichas de cadastro. O cadastro número 10 refere-se a duas feições de erosão, assim como o cadastro 19, já o cadastro 32 refere-se a quatro feições de erosão.

Algumas destas áreas encontram-se aparentemente estabilizadas, no entanto, sempre constatou-se a necessidade da realização de proteção superficial ao menos em parte do terreno.

Os cálculos do índice de Relevância do Passivo Ambiental – RPA indicam que existem 11 (onze) áreas a serem monitoradas rotineiramente, pois oferecem risco médio a alto à rodovia, usuários, moradores dos seus arredores ou ao meio ambiente (Quadro 4.7). Todos os passivos possuem agravante de estarem em solo arenoso, estarem a montante de captação de água e poucos possuem atenuante.

Os investimentos previstos para a realização das obras de recuperação dos passivos ambientais foram elaborados com base na Tabela de Preços Unitários - TPU do DER/SP de março de 2008. O ensaio sobre os investimentos foi realizado apenas com base nas observações do local. Não foi realizado sobre um projeto executivo e, desta forma, é apenas ilustrativo para se ter a noção da ordem de grandeza.

Podemos considerar como os passivos ambientais mais graves e que necessitam de ações imediatas (no próximo ano) para a estabilização do processo erosivo e recuperação da área degradada, aqueles cujos valores do RPA são superiores a 6. Ações imediatas são aquelas a serem adotadas no próximo período de um ano. Os passivos que se enquadram neste critério são aqueles cadastrados nas fichas 3, 7, 13 e 25. O passivo ambiental 13 foi também identificado na auditoria ambiental como sendo o sistema de drenagem 3.

Um segundo grupo classificado como de gravidade intermediária pode ser definido entre os valores de RPA de 4 a 5,9. Encontram-se neste grupo os passivos ambientais cadastrados nas fichas 2, 4, 6, 10, 12, 19, 20, 31 e 33. O passivo ambiental 12 foi também identificado na auditoria ambiental como sendo o sistema de drenagem 1. Estas áreas devem prever a intervenção para estabilização dos processos erosivos e recuperação da área degradada a um médio prazo, considerando-se médio prazo um período entre um e três anos.

O terceiro grupo foi classificado como gravidade baixa para os valores de RPA inferiores a 4. Encontram-se neste grupo os passivos ambientais cadastrados como 8, 11, 30, 32 e 34. Os investimentos de estabilização dos processos erosivos e recuperação destas áreas é relativamente baixo. Por conta disso, o prazo para a realização das intervenções pode ser previsto como sendo no máximo de 3 anos, pois considera-se que quanto mais rápida for a recuperação destas áreas, menor é a possibilidade de agravamento da situação.

Número da ficha de campo de cadastro do passivo ambiental	Localização do passivo ambiental no quilômetro da rodovia	Oferece risco à rodovia, usuários ou lindeiros	Análise se existe algum atenuante	Valor do cálculo do RPA	Investimento estimado de recuperação da área do passivo ambiental em reais (R\$)
2	223+900	Rodovia e usuários	Não	5	5.150,00
3	224+500	Rodovia, usuários, lindeiros	Não	6,4	636.200,00
4	227+100	Rodovia, usuários, lindeiros	Não	5,6	124.100,00
6	227+500	Rodovia e usuários	Não	5,8	33.850,00
7	227+700	Rodovia, usuários, lindeiros	Não	6,4	88.850,00
8	228+100		Sim	2,1	5.000,00
10	230+100	Rodovia	Não	4,9	25.350,00
11	231+300	Rodovia	Sim	3,6	16.750,00
12	233+300	Usuários e Lindeiros	Não	4,9	277.000,00*
13	235+000	Rodovia, usuários e lindeiros	Não	6,4	259.200,00*
19	236+100	Rodovia	Não	5,1	33.200,00
20	236+700	Rodovia	Não	5,1	10.650,00
25	237+900	Rodovia	Não	6	23.100,00
30	224+700	Lindeiros	Sim	2,2	1.000,00
31	228+300	Usuários e lindeiros	Não	4,9	1.300,00
32	228+500	Lindeiros	Sim	2,2	35.700,00
33	238+100	Rodovia	Não	5,1	10.650,00
34	234+700	Lindeiros	Não	3,2	1.000,00
<b>Total</b>					<b>R\$1.051.850,00</b>

\* Custos contabilizados anteriormente para a recuperação do sistema de drenagem. Não estão considerados no cálculo do montante total para a recuperação dos passivos ambientais.

**Quadro 4.7** - Análise financeira dos passivos ambientais cadastrados na área de estudo

#### 4.4.7 Monitoramento Ambiental

Com base nas proposições oriundas do questionário e das entrevistas, da pesquisa bibliográfica realizada, dos dados da carta geotécnica e dos levantamentos de detalhe realizados em campo foi possível a elaboração de um roteiro para a realização do monitoramento ambiental.

O monitoramento ambiental pode ser considerado como o conjunto de serviços de acompanhamento da conservação da rodovia, com o objetivo de verificar o cumprimento dos requisitos ambientais definidos na legislação ambiental, nas especificações de serviços do

órgão rodoviário, no resultado da avaliação de impacto ambiental e dos levantamentos de campo de detalhe (cadastro dos passivos ambientais, auditoria ambiental).

Para a estruturação do monitoramento, foram definidos o meio de realização, a periodicidade dos levantamentos, a hierarquização das áreas a serem monitoradas e os procedimentos a serem observados (método).

#### **4.4.7.1 Método de realização do monitoramento ambiental**

Com base nos resultados das entrevistas e questionários sugere-se que o método para a realização dos trabalhos deverá ser pautado nas vistorias técnicas de campo (inspeções). No entanto, também deve ser realizada periodicamente a análise de imagens aéreas do trecho a ser vistoriado, pois estas colaboram na identificação de feições de erosão que possam vir a interferir com a rodovia e que, por vezes, a inspeção de campo não consegue detectar.

As inspeções têm o objetivo de observar as condições da rodovia como um todo e em locais específicos. Também objetivam verificar as condições das estruturas de drenagem.

As inspeções devem ser realizadas por meio de observações de campo com o objetivo de reconhecimento de algum aspecto adverso ou de alguma anomalia, muitas vezes de ocorrência repentina, que possa colocar em perigo a rodovia, seus usuários ou os habitantes dos seus arredores e, ainda, o meio ambiente.

Tais observações devem ser formalmente registradas e arquivadas em um banco de dados, sendo sua utilização fundamental para a análise das condições ambientais e de segurança da rodovia.

Para a eliminação da anormalidade constatada devem ser imediatamente implantadas ações e medidas corretivas, sempre com a elaboração de documento técnico no qual devem estar detalhadamente descritas as atividades colocadas em prática para sanar o problema (projeto básico e/ou executivo).

Nos casos em que se constatar alguma anormalidade na rodovia ou nas áreas adjacentes que, por alguma razão, não possa ser prontamente eliminada ou, ainda, cuja causa, evolução ou possíveis conseqüências não possam ser precisamente determinadas, deve-se deflagrar um plano preventivo de convivência com a situação anômala, de modo a diminuir os riscos de acidente ou de dano ambiental.

As inspeções na rodovia são classificadas em inspeções de rotina: pré-instalação do sistema de drenagem adequado e da recuperação dos passivos ambientais, e pós-instalação do sistema de drenagem adequado e da recuperação dos passivos ambientais; inspeções preventivas de verão; e inspeções de emergência. A periodicidade e os procedimentos a serem adotados são descritos a seguir.

#### **4.4.7.2 Periodicidade do monitoramento ambiental**

A análise de imagens aéreas deve ser realizada anualmente no período que antecede a adequação da infra-estrutura rodoviária (sistema de drenagem) e a recuperação das áreas dos passivos ambientais cadastrados. Após a realização desses serviços, a periodicidade de análise de imagens aéreas pode ser espaçada para três anos. É interessante que a tomada da imagem aérea seja realizada após a ocorrência da estação chuvosa (meses de abril a julho) para análise de seus efeitos.

Fotografias oblíquas realizadas com máquinas fotográficas comuns obtidas por sobrevôo de helicóptero pode ser uma ferramenta alternativa para a vistoria com imagens aéreas. Esta ferramenta, por seu menor custo, pode ser uma alternativa interessante em relação à aquisição de imagens verticais provenientes de levantamentos aerofotogramétricos ou de imagens de satélite. Utilizando-se das fotografias oblíquas, a periodicidade dos levantamentos pode ser reduzida para anual.

Para as áreas com maior potencial de acidentes e impactos ambientais, as inspeções de rotina pré-instalação do sistema de drenagem adequado e recuperação dos passivos ambientais devem ser previstas com a periodicidade relacionada a cada evento chuvoso anômalo (maior intensidade ou acúmulo), independente da estação climática. Imediatamente após estes eventos, deve-se realizar a inspeção. No entanto, as inspeções de rotina devem ser realizadas no mínimo mensalmente, durante a estação chuvosa (outubro a abril). Durante os meses de estiagem (maio a setembro), as inspeções de rotina devem ser realizadas no mínimo a cada dois meses.

Para as outras áreas, a inspeção de rotina de campo pode ser realizada a cada duas vistorias nas áreas com maior potencial de acidentes e impactos ambientais, ou seja, o período pode ser duplicado.

Para as áreas com maior potencial de acidentes e impactos ambientais, as inspeções de rotina pós-instalação do sistema de drenagem adequado e recuperação dos passivos

ambientais devem prever a periodicidade relacionada à estação climática. Devem ser realizadas no mínimo mensalmente, durante a estação chuvosa (outubro a abril). Durante os meses de estiagem (maio a setembro), as inspeções devem ser realizadas no mínimo a cada dois meses.

As inspeções preventivas de verão são as últimas inspeções ordinárias do período de estiagem. Devem ser realizadas no mês de setembro e têm o objetivo de identificar a falta de medidas preventivas que possam comprometer a segurança e o meio ambiente e indicar a aplicação das mesmas.

Em casos de emergência, ou seja, da deflagração de um processo erosivo inesperado ou acidental, que coloque em risco a segurança e o meio ambiente, deve-se realizar uma inspeção de emergência imediatamente após o evento, para a definição de medidas de restauração das condições desejáveis de segurança e de qualidade ambiental.

#### **4.4.7.3 Hierarquia do monitoramento das áreas – objeto**

As áreas com maior potencial de acidentes ou de causarem impacto ambiental são os passivos ambientais de gravidade média e alta, os sistemas de drenagens indicados pela auditoria ambiental e as unidades da carta geotécnica consideradas de alta a muito alta suscetibilidade à formação de erosão.

Os 13 passivos ambientais considerados neste quesito são: 2 (km 223+900), 3 (km 224+500), 4 (227+100), 6 (227+500), 7 (227+700), 10 (230+100), 12 (233+300), 13 (235+000) 19 (236+100), 20 (236+700), 25 (237+900), 31 (228+300) e 33 (238+100).

Os trechos de drenagem considerados neste quesito são: 1 (km 233+000 ao 234+000), 3 (km 235+000 ao 235+150) e 5 (km 236+000 ao 238+000).

São consideradas com alto potencial de acidentes ou de causarem impacto ambiental os trechos de rodovia inseridos no contexto das unidades: II Escarpas na Serra de Botucatu, IV Arenitos nos topos de colinas, e VI Vertentes em Arenitos.

#### **4.4.7.4 Procedimentos a serem observados durante o monitoramento ambiental**

Para a realização do planejamento das inspeções técnicas para o monitoramento, serão utilizados os registros das áreas com risco de acidentes ou ao meio ambiente (fichas de registro dos trechos de drenagem e nas fichas de cadastro dos passivos ambientais). Esses registros servirão de comparação para a evolução da situação.



A análise da evolução da situação de recuperação dos passivos ambientais e das melhorias implantadas no sistema de drenagem tem também de ser baseado no planejamento de investimentos a ser realizado na rodovia, porém este não é o tema desta pesquisa.

Propõe-se que seja realizada uma avaliação técnica durante o monitoramento dessas áreas com a análise da estabilidade do local e da necessidade de uma intervenção imediata para a estabilização. Obviamente, também deve ser analisada a intervenção de recuperação, quando realizada e, ser atualizada a classificação de risco e conseqüentemente da sua relevância.

Tanto para a situação dos passivos ambientais quanto para a análise do sistema de drenagem, devem ser utilizados os mesmos modelos de fichas do cadastro dessas áreas. Sugere-se o arquivamento destas fichas em seqüência cronológica, se possível em um banco de dados, para a gestão dessas informações.

Também, para a gestão das informações referentes às áreas prioritárias, sugere-se a elaboração de uma listagem atualizada com as informações relativas à última vistoria para acompanhamento da situação e planejamento dos trabalhos futuros.

#### **4.4.7.5 Restrições do método de monitoramento**

O método proposto de monitoramento avalia por meio de inspeções apenas as condições da rodovia, da sua faixa de domínio e seus arredores mais próximos. O monitoramento e a análise regional para a avaliação dos impactos ambientais das drenagens de jusante podem ser realizados apenas quando utiliza-se de imagens aéreas.

Neste método não está sendo analisado o volume do material de assoreamento que é encaminhado para os córregos e quais impactos esse assoreamento está causando.

O monitoramento via inspeção rotineira in loco, pode não identificar o início da formação de um processo de erosão que esteja coberto por vegetação ou em local de difícil acesso. Nestes casos, a imagem aérea poderá auxiliar. No entanto, como a sua utilização está prevista em longos espaços de tempo, a ocorrência inesperada de um processo de erosão pode vir a acontecer.

#### **4.4.7.6 Instrumentos para a análise de desempenho ambiental**

A análise de desempenho ambiental do trecho da rodovia SP 300 em questão se divide em duas fases: a fase pré-instalação completa das melhorias no sistema de drenagem e recuperação dos passivos ambientais e, posteriormente, a fase após essas intervenções.

Para a análise de desempenho ambiental em relação aos processos de erosão é definido um peso com um total de 100 pontos. A partir deste total serão subtraídos os pontos referentes a cada um dos instrumentos de medição que não atenderem aos quesitos definidos.

Independente das fases de pré-instalação ou pós-instalação das melhorias nos sistema de drenagem e recuperação dos passivos ambientais e, como premissa desta pesquisa, considera-se que não devem se formar novos processos erosivos de grande porte (ravinas e boçorocas). Esta premissa se aplica neste caso, pois após os dados obtidos pela pesquisa, é possível a realização do monitoramento periódico e contínuo que indique a adoção de medidas preventivas antes que se formem novos processos de erosão.

Como ponto de partida, este parâmetro é considerado com peso 20 (vinte), porém se ocorrer um processo erosivo de grande porte, os 20 (vinte) pontos são retirados.

#### **Fase pré-instalação das medidas de melhorias ambientais**

Antes da implantação de todas as melhorias ambientais, propõe-se ter como indicadores para a análise de desempenho ambiental:

- a. Implantação das melhorias ambientais previstas na auditoria ambiental e no plano de recuperação de áreas degradadas, peso de 15 (quinze) pontos;
- b. Não formação de novos processos erosivos de pequeno porte, peso de 10 (dez) pontos;
- c. Manutenção dos sistemas de drenagem e da proteção superficial vegetal, peso de 5 (cinco) pontos;
- d. Atendimento às solicitações de intervenção resultantes do monitoramento, peso de 10 (dez) pontos; e
- e. Atendimento aos casos de imprevistos e de geração de impactos ambientais (plano de emergências), peso de 5 (cinco) pontos.

### **a) Implantação das melhorias ambientais previstas na auditoria ambiental e no plano de recuperação de áreas degradadas**

Com base nos resultados da auditoria ambiental do sistema de drenagem e da recuperação dos passivos ambientais, é proposta como atributo para a mensuração na análise de desempenho ambiental, a realização das melhorias nas condições ambientais do empreendimento por meio da implantação das ações preventivas.

Também, se considerada a análise financeira do empreendimento, e utilizando-se das estimativas de custo elaboradas, é possível a elaboração de um plano de intervenções em que, num prazo determinado, todas as melhorias estejam implantadas.

Com base em ROMANINI (no prelo), a avaliação deste indicador, devido a sua importância, terá peso 15 (quinze), dos quais serão deduzidos pontos devido a não implantação das medidas necessárias, conforme critério a seguir:

- - 5 (cinco) pontos se a relação dos passivos e sistemas de drenagem a serem recuperados, no próximo período de um ano, não estiver adequadamente identificada e classificada, com cronograma de recuperação definido;
- - 5 (cinco) pontos se até 3 (três) passivos e sistemas de drenagem deixaram de ser recuperados na data estabelecida no cronograma e não foi apresentada justificativa prévia, com substituição por outros passivos;
- - 10 (dez) pontos se 4 (quatro) ou 5 (cinco) passivos ambientais e sistemas de drenagem deixaram de ser recuperados na data estabelecida no cronograma e não foi apresentada justificativa prévia, com substituição por outros passivos;
- - 15 (quinze) pontos se mais de 5 (cinco) passivos ambientais e sistemas de drenagem deixaram de ser recuperados na data estabelecida no cronograma e não foi apresentada justificativa prévia, com substituição por outros passivos;
- - 5 (cinco) pontos se a organização responsável recuperou apenas entre 90% e 99% do previsto e estabelecido, ou seja, no mínimo 5% do passivo total a cada ano de planejamento, sendo no mínimo 50% de passivos e sistemas de drenagem que apresentem potencial de riscos graves ao sistema;
- -10 (dez) pontos se a organização responsável recuperou apenas entre 80% e 89% do previsto e estabelecido, ou seja, no mínimo 5% do passivo total a cada

ano de planejamento, sendo no mínimo 50% de passivos e sistemas de drenagem que apresentem potencial de riscos graves ao sistema;

- - 15 (quinze) pontos se a organização responsável recuperou menos de 80% do previsto e estabelecido, ou seja, no mínimo 5% do passivo total a cada ano de planejamento, sendo no mínimo 50% de passivos e sistemas de drenagem que apresentem potencial de riscos graves ao sistema.

#### **b) Não formação de novos processos erosivos de pequeno porte**

Como visto anteriormente, a média de passivos ambientais neste trecho rodoviário supera largamente a média existente nas rodovias do estado de São Paulo, conforme descrito em DER/SP (2006b).

Por conta de, em geral, o empreendimento estar inserido em terrenos com muito alta suscetibilidade à erosão, admite-se o seguinte atenuante: se ocorrer apenas um processo erosivo de pequeno porte (sulco) que movimente um volume aproximado de 100 m<sup>3</sup> de material no período de um ano a cada dez quilômetros de rodovia, a organização responsável pela conservação da rodovia não sofrerá prejuízo na sua análise de desempenho ambiental, desde que tenha tomado todas as providências para a recuperação da área e de seus impactos ambientais, e que algum tipo de medida preventiva tivesse sido adotada.

Desta forma, a postura em corrigir eventuais problemas deve ser mensurada. Nestes casos, após a verificação do problema, devem sempre ser definidas as ações a serem adotadas e proposto um prazo para que estas ações sejam implementadas com o objetivo de evitar o agravamento e de se obter a solução da situação, por meio da elaboração e apresentação de um plano que contempla o projeto executivo. O cumprimento da implementação do plano, com as ações e prazos previstos, devem ser sempre avaliadas positivamente.

No critério de avaliação este indicador terá peso 10 (dez), dos quais serão deduzidos pontos devido a não implantação das medidas previstas ou necessárias, conforme abaixo:

- - 2 (dois) pontos, se até 20% das medidas de controle ambiental apresentadas no plano, deixaram de ser implantadas e como consequência ocorreu ou está ocorrendo dano ambiental de pequena gravidade (pequenas dimensões, pequena duração etc.) e reversível. Se o dano ambiental for mitigado em até 15 dias, após a constatação e comunicação à organização responsável, a mesma só será penalizada com -1 (um) ponto;

- - 5 (cinco) pontos, se entre 20% e 50% das medidas de controle ambiental apresentadas no plano, deixaram ser implantadas e como consequência ocorreram ou estão ocorrendo danos ambientais de pequena gravidade e reversíveis. Se os danos ambientais forem mitigados em até 15 (quinze) dias, após a constatação e comunicação à organização responsável, a mesma será penalizada em -2 (dois) pontos;
- A pontuação para este indicador será zerada se mais de 50% das medidas de controle ambiental, apresentadas no plano, deixaram de ser implantadas e como consequência ocorreram ou estão ocorrendo danos ambientais, mesmo que estes sejam de pequena gravidade e reversíveis;
- - 5 (cinco) pontos, se até 20% das medidas de controle ambiental, apresentadas no plano, deixaram de ser implantadas e como consequência ocorreu ou está ocorrendo dano ambiental grave (grande dimensão, longa duração, irreversível);
- A pontuação será zerada se mais de 20% das medidas de controle ambiental apresentadas no plano, deixaram de ser implantadas e como consequência ocorreu ou está ocorrendo dano ambiental grave (grande dimensão, longa duração, irreversível, etc.);
- - 2 (dois) pontos, se uma medida de controle ambiental não apresentada no plano, mas necessária, de obra licenciada ou não, deixou de ser implantada e como consequência ocorreu ou está ocorrendo dano ambiental de pequena gravidade (pequena dimensão, pequena duração, etc.) e reversível. Se o dano ambiental for mitigado em até 15 (quinze) dias, após a constatação e comunicação à organização responsável, a mesma só será penalizada com -1 (um) ponto;
- - 5 (cinco) pontos, se duas medidas de controle ambiental não apresentadas no plano, mas necessárias, de obra licenciada ou não, deixaram de ser implantadas e como consequência ocorreram ou estão ocorrendo danos ambientais de pequena gravidade (pequena dimensão, pequena duração, etc.) e reversível. Se os danos ambientais forem mitigados em até 15 (quinze) dias, após a constatação e comunicação à organização responsável, a mesma só será penalizada com - 2 (dois) pontos; e

- A pontuação para este indicador será zerada se três ou mais medidas de controle ambiental não apresentadas no plano, mas necessárias, deixaram de ser implantadas e como consequência ocorreram ou estão ocorrendo danos ambientais, mesmo que estes sejam de pequena gravidade e reversíveis.

### **c) Manutenção dos sistemas de drenagem e da proteção superficial vegetal**

No critério de avaliação, o indicador da manutenção do sistema de drenagem e da proteção superficial em taludes terá peso 5 (cinco), dos quais serão deduzidos pontos devido a não implantação das medidas previstas ou necessárias, conforme abaixo:

- - 1 (um) ponto se durante as inspeções técnicas for observado que existem situações que indiquem a falta de adoção das medidas preventivas em até 10% dos locais indicados para o monitoramento;
- - 2 (dois) pontos se durante as inspeções técnicas for observado que existem situações que indiquem a falta de adoção das medidas preventivas em mais de 10% dos locais indicados para o monitoramento;
- - 2 (dois) pontos se as solicitações sobre o tema da última inspeção técnica não tiverem sido atendidas; e
- a pontuação será zerada se não houver serviço de manutenção do sistema de drenagem e proteção vegetal nos taludes.

### **d) Atendimento às solicitações de intervenção resultantes do monitoramento**

Como exemplo dos planos e programas que fazem parte do indicador de atendimento às solicitações do monitoramento, podem ser citados: o registro e relatórios dos programas de monitoramento; a obrigatoriedade de comunicar a organização responsável sobre as exigências do monitoramento e as ações que serão adotadas para respondê-las e, principalmente, a comunicação para as organizações responsáveis sobre as situações de emergência e a análise dos procedimentos definidos nos planos de emergência.

No critério de avaliação, este indicador terá peso 10 (dez), dos quais serão deduzidos pontos devido a não implantação das medidas previstas, conforme critério abaixo:

- - 2 (dois) pontos, se até 20% das medidas de controle ambiental deixaram de ser implantadas e como consequência ocorreu ou está ocorrendo erosão de

pequeno porte (sulco). Se o dano ambiental for mitigado em até 15 (quinze) dias, após a constatação pela inspeção ambiental e comunicação à organização responsável, a mesma só será penalizada com -1 (um) ponto;

- - 5 (cinco) pontos, se entre 20% e 50% das medidas de controle ambiental deixaram ser implantadas e como consequência ocorreu ou está ocorrendo erosão de pequeno porte (sulco). Se os danos ambientais forem mitigados em até 15 (quinze) dias, após a constatação e comunicação à Concessionária, a mesma será penalizada em -2 (dois) pontos;
- A pontuação para este indicador será zerada se mais de 50% das medidas de controle ambiental deixaram de ser implantadas e como consequência ocorreu uma erosão, mesmo que esta seja de pequeno porte (sulco).

#### **e) Atendimento aos casos de imprevistos e de geração de impactos ambientais (plano de emergências)**

Incluem-se no indicador os programas e medidas para proteção e/ou atendimento a emergências relacionados à formação de processos de erosão, planos de emergência e/ou gerenciamento de risco, treinamento dos empregados para situações de emergência, recuperação das áreas impactadas, etc.

No critério de avaliação, este indicador terá peso 5, dos quais serão deduzidos pontos devido a não implantação das medidas previstas ou necessárias, conforme critério abaixo:

- - 2 (dois) pontos, se a rodovia estiver em operação e não tenha um plano de emergências elaborado;
- - 2 (dois) pontos se a organização responsável não propiciou o treinamento de seus empregados para operacionalização do plano de emergências;
- - 3 (três) pontos se a organização responsável não informar à fiscalizadora, no prazo pré-estabelecido, a ocorrência de situações emergenciais com relação aos processos de erosão;
- A pontuação para este indicador será zerada se ocorrer algum acidente com dano ambiental, decorrente da falta de um plano de emergências; e

- A pontuação para este indicador também será zerada se ocorrer algum acidente com dano ambiental e não forem iniciadas a implantação de medidas de mitigação e/ou recuperação em até 48 horas após a liberação da área.

### **Fase após a implantação das melhorias ambientais**

Para esta fase, apenas foi subtraída a análise sobre o plano de recuperação de passivos ambientais e do sistema de drenagem.

Após a implantação de todas as melhorias ambientais, propõe-se ter como indicadores para a análise de desempenho ambiental a maioria dos parâmetros da fase anterior:

- a. Não formação de novos processos erosivos de pequeno porte;
- b. Manutenção dos sistemas de drenagem;
- c. Manutenção da proteção superficial vegetal;
- d. Atendimento às solicitações de intervenção resultantes do monitoramento; e
- e. Atendimento aos casos de imprevistos e de geração de impactos ambientais.

#### **4.4.8 Análise dos resultados da etapa de detalhe**

Os resultados obtidos com os produtos dos estudos de detalhe foram fundamentais para a conclusão da elaboração dos instrumentos de gestão.

Sendo realizado de forma independente e paralelamente à execução da carta geotécnica, foi possível a elaboração da auditoria ambiental e do plano de recuperação dos passivos ambientais. Com base nestes dados foi proposto o plano de monitoramento ambiental e, contido neste, a definição dos indicadores para a análise de desempenho ambiental.

Para a carta geotécnica na escala 1:10.000, a re-definição dos limites das unidades homogêneas do terreno utilizando-se da mesma técnica da etapa anterior, não ofereceu dados relevantes para uma nova caracterização de impacto ambiental. Pode-se considerar que houve uma melhoria com relação a precisão na identificação de locais críticos, que foram considerados durante a elaboração do plano de monitoramento ambiental.

Foi constatado que as erosões que ocorriam nas unidade de Escarpas em arenitos (escala 1:50.000), grande parte destas ocorrem na nova unidade chamada de Vertentes em arenitos, onde as declividades são superiores.



A análise do índice de concentração de erosão ficou prejudicado devido à pequena área de amostragem para este tipo de análise. Em algumas das unidades em que esperava-se a existência de processos erosivos, relacionados ou não com a rodovia, não foram identificadas feições de erosão neste contexto. Este fator distorce a correlação entre o índice de concentração de erosão e a suscetibilidade à erosão dos terrenos, impedindo a sua realização sem o conhecimento dos outros atributos que definem a suscetibilidade.

Esta escala 1:10.000 foi fundamental para a identificação e apresentação das áreas de preservação permanente - APPs.

O levantamento da situação do sistema de drenagem apresentou a situação atual de riscos de formação de novos processos de erosão ao longo da rodovia. O método empregado definiu a hierarquia de prioridade de intervenção por meio da análise de risco que cada conjunto do sistema de drenagem oferece para a rodovia, seus usuários e ao meio ambiente. Também, a elaboração de um ensaio sobre os investimentos necessários para a adequação desse sistema de drenagem às condições ideais de funcionamento, frente à suscetibilidade à erosão dos terrenos, permite que a organização empreendedora possa elaborar um plano de investimentos para a melhoria das condições ambientais.

A auditoria ambiental também poderia ter sido realizada para outros objetos da rodovia que colaboram para a formação dos processos de erosão, como por exemplo, os taludes de corte. No entanto, no caso particular deste trecho rodoviário, os taludes de corte não foram auditados por tratar-se de um estudo piloto e, por terem menor significado com relação aos impactos da erosão. Este trecho da rodovia encontra-se, na maior parte do seu traçado, localizado sobre o topo das colinas e seu traçado define pouquíssimos taludes de corte.

Os taludes de corte existentes, no geral, encontram-se estabilizados e são caracterizados por serem baixos, tendo no máximo 3 metros de altura, inclinação excessiva e cobertura vegetal resultante da regeneração natural. Para um projeto de recuperação da rodovia os taludes necessitam ter a inclinação suavizada e receber uma proteção vegetal superficial adequada. No trecho de Serra existem muitos taludes de corte instáveis, porém os processos que ocorrem são de escorregamento.

O levantamento das erosões associadas a rodovia identificadas na etapa de semi-detalle, foi base fundamental para o cadastro dos passivos ambientais. No entanto, nem todas as erosões interpretadas em fotografias aéreas puderam ser caracterizadas no detalhe por duas

razões: dificuldade de acesso aos locais (cobertura vegetal), ou regeneração natural do local por meio do crescimento vegetal.

O cadastro destes passivos ambientais, utilizando-se do método proposto pelo DER/SP (2006b), possibilitou a elaboração do plano de recuperação dos passivos ambientais, por meio da priorização das intervenções. Este método é representativo, pois define a priorização das intervenções por meio da análise do risco de acidentes e de degradação. Da mesma forma que utilizado em um instrumento de auditoria ambiental, o plano de recuperação apresentou uma estimativa de custos de investimentos para a estabilização dos processos de erosão e recuperação ambiental destas áreas, para o planejamento financeiro da organização empreendedora.

No entanto, em ambos os casos, para que seja obtida uma maior confiabilidade das condições de investimento, é necessário o detalhamento da auditoria ambiental. Entende-se que seja necessária a realização de uma nova etapa para o levantamento do sistema de drenagem e dos passivos ambientais. Esta nova etapa não é objetivo desta pesquisa, pois entende-se que os dados do meio físico que possibilitam a gestão ambiental da rodovia e o controle da erosão já estão disponibilizados.

No entanto, propõe-se que esta nova etapa tenha como objetivo a realização de ensaios e levantamentos dirigidos em maior detalhe, para a elaboração dos projetos executivos dos sistemas de drenagem e de recuperação dos passivos ambientais. Propõe-se que sejam realizados levantamentos topográficos, sondagens, coleta de amostras e ensaios de laboratório.

A definição do método e da periodicidade do monitoramento, teve como base a percepção do grupo de técnicos consultados e que atuam com o tema. A hierarquia dos locais a serem monitorados é uma proposta que não exige de responsabilidade de monitoramento todo o trecho rodoviário, mas otimiza a sua realização. A definição de locais como foco principal do monitoramento, permite que estes locais que têm maior possibilidade de geração de impactos ambientais e acidentes, sejam investigados com maior detalhe e atenção. Também, a identificação das limitações e restrições do método de monitoramento deixam claro que a sua aplicação é possível mas, que no entanto, têm de ser possível a convivência com as suas limitações.

O monitoramento deixa de ser um instrumento de análise intuitiva do técnico especialista devido a definição de parâmetros mensuráveis para a realização da análise de

desempenho ambiental. Os critérios utilizados foram baseados na proposta de Romanini (2006), porém necessita ser testada para que sejam realizados ajustes nos índices propostos.

#### **4.5 Diretrizes para os Estudos do Meio Físico Direcionados à Gestão Ambiental de Rodovias em Operação**

A conclusão da pesquisa, com os resultados obtidos desde o início dos estudos, e a indicação de novos estudos que podem ser desenvolvidos futuramente, possibilitou a proposição de diretrizes para a análise do meio físico e o desenvolvimento de instrumentos de gestão ambiental para um empreendimento rodoviário em operação (Apêndice 10).

As diretrizes propostas são a consolidação dos estudos desta pesquisa. Para os estudos do meio físico, visando a obtenção de instrumentos de gestão ambiental de uma rodovia em operação, são apresentadas em quatro etapas principais. Os resultados de cada uma das etapas são os instrumentos de gestão ambiental, que podem ser obtidos por meio da interpretação e/ou elaboração de cartas geotécnicas, bem como, à partir de outros levantamentos específicos.

A primeira etapa chamada de Levantamentos Iniciais está baseada na formulação do problema a ser pesquisado e início dos levantamentos, ambos por meio da análise de mapeamentos em escala regional (1:1.000.000 a 1:500.000) e em pesquisa bibliográfica. Nesta etapa é possível a elaboração dos seguintes instrumentos de um SGA: análise de impacto ambiental e monitoramento ambiental, dependendo do nível de detalhe exigido.

Na segunda etapa, chamada de Estudos de Semi-detalle, deve ser elaborada uma carta geotécnica na escala 1:50.000, com base no planejamento previamente realizado, conforme o método desenvolvido nesta pesquisa. Além da carta geotécnica, também deve ser realizada a interpretação de imagens aéreas para o levantamento das feições dos processos que serão o objeto do estudo, e análise daqueles que tem relação direta com a rodovia. Nesta etapa, os possíveis instrumentos de um SGA a serem desenvolvidos são: caracterização de impacto ambiental e monitoramento ambiental, dependendo do nível de detalhe exigido.

A terceira etapa, chamada de Estudos de Detalle, é quando os levantamentos apresentam os melhores resultados para o desenvolvimento dos instrumentos de gestão ambiental para uma rodovia em operação. Nesta etapa, com base no planejamento realizado anteriormente, deve ser elaborada uma carta geotécnica na escala 1:10.000, conforme o método proposto nesta pesquisa. Esta carta geotécnica pode ser elaborada apenas para alguns

trechos pré-selecionados (priorizados) da rodovia, dependendo da necessidade identificada na etapa anterior.

Além dos estudos com a carta geotécnica, devem ser desenvolvidos outros levantamentos específicos, referentes a auditoria ambiental, compostos pelo cadastro dos passivos ambientais (com base nos processos do meio físico interpretados nas imagens aéreas na etapa anterior) e pelo levantamento dos principais indutores para a formação desses processos (sistema de drenagem, cobertura superficial vegetal, taludes, etc). Estes estudos permitem o desenvolvimento dos seguintes instrumentos de Gestão Ambiental: caracterização do impacto ambiental, auditoria ambiental, recuperação de áreas degradadas, monitoramento ambiental. Dentro do monitoramento ambiental é possível a definição de parâmetros de mensuração para a realização de uma análise de desempenho ambiental do empreendimento.

A quarta etapa, chamada de Levantamentos Finais, é composta por estudos dirigidos e ensaios pontuais, que não foram elaborados no âmbito desta pesquisa. Os resultados desta etapa servem principalmente para a melhoria dos resultados do instrumento de recuperação de áreas degradadas, de auditoria ambiental e do monitoramento ambiental.

A melhoria na qualidade dos dados para o desenvolvimento de projetos de recuperação das áreas degradadas e de recuperação dos fatores causadores dos processos do meio físico (sistema de drenagem, cobertura superficial vegetal, taludes, etc), também melhoram as respostas desses instrumentos. Esta melhora de qualidade se deve ao maior detalhamento dos dados, desenvolvimento de projetos executivos de recuperação destas áreas, e a possibilidade de elaboração de um quadro mais realista sobre os investimentos a serem realizados.

## 5 CONCLUSÃO

Os resultados desta pesquisa demonstraram que, é possível o desenvolvimento de instrumentos de gestão ambiental a partir da análise e elaboração de cartas geotécnicas em diferentes escalas. O estudo do meio físico direcionado ao entendimento dos processos, realizado por meio do detalhamento progressivo para a consulta e elaboração de cartas geotécnicas em diferentes escalas, em conjunto com a realização dos levantamentos específicos, obteve como resultado uma série de dados que subsidiaram o desenvolvimento dos instrumentos de gestão ambiental para o empreendimento rodoviário em operação, neste caso, o trecho da Rodovia Marechal Rondon (SP 300).

Assim, o método adotado se mostrou adequado para a análise do meio físico, dos processos de erosão e das condições da rodovia. Com estas análises foi possível a elaboração dos instrumentos de gestão ambiental.

A adoção do método do detalhamento progressivo para a elaboração das cartas geotécnicas possibilitou que os resultados fossem obtidos desde os levantamentos iniciais da pesquisa. Na conclusão da pesquisa ainda foi possível a indicação sobre os tipos de levantamentos que poderiam ser realizados futuramente para melhoria da qualidade dos dados, visando à gestão ambiental. Puderam ser obtidos dados para o desenvolvimento dos instrumentos de gestão ambiental desde a escala regional (1:1.000.000) até a escala de detalhe (1:10.000).

A análise realizada ao final de cada etapa permitiu identificar as deficiências dos levantamentos em cada escala específica frente à necessidade de respostas aos instrumentos

de gestão ambiental e colaborou no planejamento da coleta de dados da etapa seguinte, validando o método das hipóteses progressivas (SANTOS 1994).

O planejamento das cartas geotécnicas, visando definir a sua aplicação e o entendimento dos processos do meio físico, foi fundamental para saber quais os produtos a serem obtidos em cada uma das etapas seguintes da pesquisa. A coleta de dados foi direcionada ao entendimento do meio físico, dos processos de erosão e para a obtenção de subsídios ao desenvolvimento dos instrumentos de gestão ambiental. Esta objetividade dos estudos possibilitou uma maior eficiência, em relação aos métodos tradicionais de análise do meio físico, na obtenção dos dados e das respostas necessárias para o desenvolvimento dos instrumentos de gestão.

A interpretação de fotografias aéreas para a avaliação do terreno e definição de unidades homogêneas, para a elaboração das cartas geotécnicas de semi-detalle e de detalle, mostrou-se adequado para a delimitação das unidades do terreno e na identificação da tipologia dos processos de erosão, ratificando a proposta de Vedovello (2000). O complemento destes levantamentos com a análise da declividade dos terrenos e do entendimento e caracterização dos processos de erosão, definiu as unidades do terreno e o comportamento geotécnico de cada uma delas.

A integração entre o método da avaliação do terreno, com o detalhamento progressivo, e o planejamento dos levantamentos direcionados ao entendimento dos processos de erosão e ao desenvolvimento da gestão ambiental, mostrou também outras qualidades. A integração destes métodos definiu um procedimento simples de execução dos estudos, em relação aos métodos tradicionais de elaboração de cartas geotécnicas, porém que exige conhecimentos específicos do executor na interpretação geomorfológica e no comportamento dos processos de erosão.

Os investimentos realizados para a obtenção dos resultados esperados, utilizando-se o método desta pesquisa, são relativamente baixos, em relação aos valores negociados para a concessão de uma rodovia, o que torna plenamente viável a sua realização para a solicitação de um pedido de licença de operação junto aos órgãos ambientais. O tempo de execução dos levantamentos também é razoavelmente curto, em relação ao tempo destinado à concessão de uma rodovia, sendo plenamente exequível quando do processo de regularização ambiental de um empreendimento rodoviário em operação.

As respostas obtidas por meio do entendimento e caracterização do meio físico e dos processos de erosão, quando da análise e execução das cartas geotécnicas, não foram completas como subsídio para a elaboração dos instrumentos de gestão ambiental. Os dados obtidos apenas pela análise e elaboração das cartas geotécnicas foram insuficientes para o desenvolvimento de todos os instrumentos de gestão ambiental.

A Avaliação de Impacto Ambiental – AIA foi o instrumento de gestão ambiental que mais diretamente obteve respostas na interpretação e elaboração das cartas geotécnicas. Dependendo do grau de exigência das respostas que se quer obter, é possível a elaboração de uma AIA a partir das escalas regionais. No entanto, o aumento do detalhe das cartas geotécnicas, melhora o conteúdo deste instrumento. Com relação aos processos de erosão, o aumento do detalhe leva a melhora na interpretação dos impactos potenciais com relação a: localização, caracterização, dimensionamento, previsibilidade, alcance e magnitude.

Por tratar-se de uma rodovia em operação e que apresenta uma série de impactos ambientais presentes e pretéritos que são provenientes de sua implantação e operação, foi possível relacionar estes impactos com as unidades geotécnicas das cartas. Desta forma, o que foi realizado foi uma Caracterização de Impacto Ambiental, pois estes impactos puderam ser observados, analisados e descritos *in loco*. Para este instrumento, a interpretação das feições de erosão nas imagens aéreas e o cadastro dos passivos ambientais, além da análise da suscetibilidade natural dos terrenos é que, conjuntamente, proporcionaram a caracterização dos impactos ambientais existentes e colaboraram na previsibilidade daquilo que ainda pode vir a ocorrer.

Também, o exercício de elaboração das cartas geotécnicas e, não apenas a sua consulta e interpretação disponibilizou uma série de dados que muitas vezes não são apresentados na sua versão final. Foram importantes os dados indiretos referentes à interpretação das feições de erosão e do assoreamento existentes. Esta caracterização da situação atual das erosões e a sua co-relação com a infra-estrutura da rodovia permitiu o avanço para a Caracterização do Impacto Ambiental – CIA e não apenas a previsão do que poderia vir a ocorrer.

Para a aplicação deste método, no caso de existir uma carta geotécnica disponível e em escala adequada (semi-detalle ou detalle), pode-se complementar os estudos por meio da interpretação de imagens aéreas e inspeções de campo para a caracterização da erosão, relacionando-a com as unidades geotécnicas.

Dentre os estudos realizados para a correlação das feições de erosão com as unidades geotécnicas definidas como de suscetibilidade natural à erosão, pode-se identificar a limitação da análise por meio dos índices de concentração de erosão. Estes índices somente devem ser utilizados para a análise dos terrenos em grandes extensões, onde o uso do solo é mais diversificado e, este passa a ser um fator menos importante na distribuição e ocorrência das feições de erosão. Quando uma região de maior extensão está em análise, é mais provável que as feições de erosão ocorram em todas as unidades geotécnicas, o que irá melhorar a validade estatística da análise.

Os dados provenientes das cartas geotécnicas podem ser subsídio para outros fins como a indicação de áreas potenciais de jazidas de solo e áreas destinadas à deposição de materiais excedentes, além de ser subsídio para projetos de melhoria e ampliação rodoviária, tais como: construção de novos dispositivos de acesso, implantação de terceiras faixas, duplicação, etc. No entanto, para a elaboração destes projetos é necessária a caracterização geotécnica dirigida e pontual, direcionada aos locais previamente selecionados.

O instrumento do Monitoramento Ambiental pode ser desenvolvido parcialmente com os dados das cartas geotécnicas. Estas apenas indicaram trechos da rodovia nos quais podem ocorrer algum tipo de impacto ambiental, pois traduzem o comportamento geotécnico. Com base nas cartas, é possível esboçar o método do monitoramento e realizar um ensaio quanto à periodicidade que deverão ser realizadas as inspeções. No entanto, são necessários dados complementares para a definição quanto aos principais objetos de monitoramento, as áreas prioritárias e os procedimentos a serem observados.

Para o desenvolvimento completo do plano de monitoramento ambiental foram necessários dados provenientes de levantamentos específicos realizados em campo na etapa de detalhe, ao longo do empreendimento, independentes, porém paralelos à execução das cartas geotécnicas. Como subsídio ao desenvolvimento do plano foram necessários dados referentes às áreas degradadas, e às áreas que potencialmente podem gerar alguma degradação. Desta forma, a realização dos estudos que resultaram na auditoria ambiental do sistema de drenagem e no cadastro dos passivos ambientais, foi fundamental para a estruturação do plano de monitoramento ambiental.

A elaboração do instrumento de auditoria ambiental para o sistema de drenagem da rodovia definiu as áreas que potencialmente podem vir a gerar riscos ou degradação. Os resultados da auditoria mostraram as deficiências do sistema de drenagem e definiram as



prioridades de intervenções, bem como os investimentos necessários para a minimização do potencial de impacto. Estes resultados puderam ser diretamente utilizados para o plano de monitoramento e para a definição de indicadores de desempenho ambiental, pois identificaram as áreas com maior potencial de acidentes e geração de impactos ambientais a serem inspecionadas e avaliadas.

A auditoria ambiental também pode ser realizada para outros objetos de uma rodovia que colaboram para a formação dos processos de erosão, como por exemplo, os taludes de corte, a proteção vegetal superficial, a interferência de terceiros, etc. No entanto, no caso particular deste trecho rodoviário foi selecionado apenas o sistema de drenagem superficial para ser auditado, pois foi observado que a deficiência de seus dispositivos é o principal causa de formação dos processos erosivos.

O cadastro dos passivos ambientais relacionados à rodovia também foi realizado no âmbito da auditoria ambiental. Com base nesse cadastro foi elaborado o plano de recuperação destas áreas, por meio, da hierarquização quanto aos riscos que estas oferecem, levantamento de custos de recuperação e definição da priorização das intervenções a ser realizadas. Estes dados também foram utilizados diretamente na elaboração do plano de monitoramento ambiental, pois indicam as áreas com maior potencial de acidentes e geração de impactos ambientais e, que podem ser inspecionadas e avaliadas.

O desenvolvimento do instrumento de monitoramento ambiental avançou para a definição de ferramentas de medição, por meio da elaboração de seus quesitos que podem ser avaliados e pontuados. Esta proposta permite que a análise do inspetor não seja apenas qualitativa, mas sim quantitativa por meio da avaliação de parâmetros pré-estabelecidos.

Com os instrumentos de gestão ambiental desenvolvidos é possível a elaboração e implantação de uma política de gestão ambiental em que esteja inserida a prevenção e o controle da erosão na rodovia. Desta forma propõe-se que os instrumentos de gestão ambiental sejam desenvolvidos e apresentados durante o processo de regularização ambiental de uma rodovia para a obtenção da licença de operação ou espontaneamente. Após a obtenção da licença de operação da rodovia cabe aos órgãos ambientais competentes, cobrar da organização gestora do empreendimento o desenvolvimento e a implantação de uma política de gestão ambiental.

Os procedimentos para os estudos aqui realizados podem ser aplicados a outros trechos rodoviários, em diferentes tipos de terrenos, analisando-se qualquer tipo de processo

do meio físico. Também, procedimentos similares podem ser aplicados em outros tipos de empreendimentos de obras lineares, tais como: ferrovias, dutovias, linhas de transmissão, etc.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGENA, S. S. **Carta Geotécnia para o planejamento do uso das terras rurais**. São Paulo, 2005. 132 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Área de concentração: Gestão Ambiental.
- AGUIAR, R. L., PARAGUASSÚ, A. B., GANDOLFI, N., 1995. Reflexão sobre a utilização do mapeamento geotécnico na determinação do potencial à erosão em regiões brasileiras. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROÇÃO, 5, 1995, Bauru. Anais... São Paulo: ABGE. p.265-266.
- AKIOSSI. A. Gestão Ambiental em concessionária de rodovias. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, X. Ouro Preto 2002. ABGE São Paulo. Anais: cd-rom.
- AKIOSSI. A.; KERTZMAN, F. F.; AUGUSTO FILHO; O., OLIVEIRA; F. M. e MOREIRA; J. Ajuste do traçado de projeto rodoviário a partir da utilização da carta de restrições ambientais: o caso do contorno de Sorocaba-SP.. In CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, XI. Florianópolis 2005. ABGE São Paulo. **Anais**. cd-rom
- ALMEIDA, F. F. M. Fundamentos geológicos do relevo paulista. São Paulo: IGG, 1964. p.167-263 (Boletim 41).
- ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; PONÇANO, W. L.; DANTAS, A. S. L.; CARNEIRO, C. D. R.; MELO, M. S.; BISTRICHI, C. A. **Mapa geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: IPT, 1981. Escala 1: 500.000. (IPT. Publicação, 1184). 2v. Mapa e 126p.
- ALMEIDA, J. R. F. Implantação de projetos de dutos na Petrobrás: perspectiva ambiental. In: ENCONTRO IBERO-AMERICANO DE UNIDADES AMBIENTAIS DO SETOR DE TRANSPORTES, 3., Florianópolis, 1998. Anais eletrônicos cd-rom
- ALMEIDA, L. C. R., 1998. Mapeamento para cadastro de pontos de alto risco geológico-geotécnico em vias públicas: o exemplo da avenida Menezes Cortes – RJ. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA, 3. ABGE. Florianópolis 1998. Anais eletrônicos cd-rom.
- ALMEIDA, L. E. G. & RODRIGUES, J. E. A avaliação dos terrenos aplicada na definição de suscetibilidades à erosão. In: Anais SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA, 3 - ABGE. Florianópolis, 1998. Anais eletrônico cd-rom.
- AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. *The Application of Aerial Photographs in Soil Survey*. In : AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY **Manual of Photogrammetric Interpretation**. 1.ed. New York : Am. Soc. Photogr., 1960. Appedix A, p. 633-666.

- ANDRADE, R. O. B.; TACHIZAWA, T.; CARVALHO, A. B.. **Gestão Ambiental: enfoque estratégico aplicado ao desenvolvimento sustentável**. São Paulo, Pearson Makron Books 2ª ed. 2004. 232p.
- ANDREW, C.O. & HILDEBRAND, P.E. *Planning and conducting agricultural research*. Westview, Ed. Boulder.1982. 94p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL - ABGE. - Manual de Sondagens. 4a edição, 73p. – São Paulo. 1.999.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Sistemas de gestão ambiental: **especificações e diretrizes para uso** – NBR ISO 14001. 1996a, Rio de Janeiro, 1996a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Sistemas de gestão ambiental: diretrizes gerais sobre princípios, **sistemas e técnicas de apoio** - NBR ISO 14004. Rio de Janeiro, 1996b.
- AUGUSTO FILHO, O. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 1ª. Rio de Janeiro 1992. ABMS/ABGE. Anais. p. 721-733.
- AUGUSTO FILHO, O. Utilização de SIG no gerenciamento de passivo ambiental: um exemplo para empreendimento rodoviário. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, X. Ouro Preto 2002. ABGE São Paulo. Anais: cd-rom.
- AUGUSTO FILHO, O.; MAGALHÃES F. S.; GRAMANI M. F. *Mass movements susceptibility map of a highway system using gis technology: a case study in Brazil*. In: GEOLINE.– Geology and linear structures. Lyon France 2005. IAEG - Abstracts. cd-rom.
- AUSTIN M. P. & COCKS K. D. Land use on the south coast of new south wales: a study of methods of acquiring and using information to analyse regional land use options. Australia. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, 1978, 2v. General Report
- BARBOSA, T. T. A. & CERRI, L. E. S.. Carta geológico-geotécnica para empreendimentos rodoviários a partir de métodos de investigação de superfície, na escala 1:25.000. São Carlos, 2004. In: Cartografia Geotécnica e Geoambiental – Conhecimento do Meio Físico: Base Para a Sustentabilidade. Anais: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL, V. São Carlos 2004. ABGE São Paulo. ISBN 85-98156-06-X p.219-228.
- BARROS, C.; MENANDRO, L.; SILVA, L.A. A auditoria ambiental no setor elétrico brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 6, SEMINÁRIO LATINO-AMERICANO DE ENERGIA, 1. Rio de Janeiro 1993. Anais. UFRJ/ Clube de Engenharia, 1993. p. 147-153.
- BELCHER, D. J. *Determinations of Soil Conditions from Aerial Photographs*. **Photogrammetric Engineering**, [s.l.], v. 14, p. 482, 1948.

- BERGAMINI, S. Jr.. **Contabilidade ambiental**. Rio de Janeiro: Revista Pensar Contábil, 2000. V. 3, n. 8.
- BERGER, A. R. *The geoindicator concept and its application*: In: BERGER, A. R. and IAMS, W. D. (editors). **Geoindicators: assessing rapid environmental changes in Earth systems**. Rotterdam A. A. Balkema/Brookfield, 1996. p. 1-14.
- BERGER, A. R. *Enivonmental change, geoindicators, and the autonomy of nature*. **GSA Today**, v. 8, jan., 1998.
- BERNARD, H.R. *Research methods in cultural anthropology*. Newbury Park, SAGE Publ., 520p, 1988
- BIEVRE G.; MERCIER E. *Detailed geological mapping of the Mercureaux anticline and dynamic tectonic modelling of the besançon bundle: application to the besançon bypass (Jura Mountains, Eastern France)*. In: GEOLINE – Geology and linear structures. Lyon France 2005. IAEG Abstracts. cd-rom.
- BITAR, O.Y.; CERRI, L. E.; NAKAZAWA, V. A. Carta de risco geológico e carta geotécnica: uma diferenciação a partir de casos em áreas urbanas no Brasil. In: SIMPÓSIO LATINOAMERICANO SOBRE RISCO GEOLÓGICO URBANO, 2. Pereira - Colômbia 1992. Anais.
- BITAR, O.Y.; Instrumentos de gerenciamento ambiental. In: FORNASARI FILHO, N. (Coord.). **O meio físico em instrumentos de gerenciamento ambiental sob a ótica da ISO 14000**. São Paulo: ABGE, 1996. p. 13-16. (Apostila de curso).
- BITAR, O.Y.; ORTEGA, R.D. Gestão Ambiental. In: OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A. (Eds.). **Geologia de engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998. p. 500-08.
- BOOTH S.J., HODDER A., REEDER TIM. *Geo-environmental ground risk appraisals for linear routes*. GEOLINE – Geology and linear structures. Lyon France 2005. IAEG Abstracts. cd-rom.
- BRAGA, T.O.; FORNASARI FILHO, N.; BATISTUCCI, S. G. G.; MONTANHESI, M. O. R.; COSTA, V. L. C.; ALUANI, S. S., PAMPLONA; R. I. Auditoria ambiental: uma proposta para empreendimentos mineiros. São Paulo: IPT; 1996. Minaçu, GO: SAMA, 1996. 116p. (IPT. Publicação 2451).
- BROLLO, M. J. **Metodologia automatizada para seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos. Aplicação na Região Metropolitana de Campinas (SP)**. TESE DE DOUTORAMENTO – Faculdade de Saúde Pública da USP. São Paulo, 2001.
- BURNS SCOTT, F. *Landslide potential along gas pipelines in the Coast Range and Willamette Valley of Oregon, USA*. GEOLINE – Geology and linear structures. Lyon France 2005. IAEG Abstracts. cd-rom.
- CAETANO, N. R. Mapeamento de propriedades geológicas e geotécnicas do meio físico, a partir de sensoriamento remoto, para planejamento de rodovias. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, X. Ouro Preto 2002. ABGE São Paulo. Anais: cd-rom.

- CANIL, K. **Processos erosivos e planejamento urbano : carta de risco de erosão das áreas urbana e periurbana do município de Franca, SP.** São Paulo 2000. Dissertação de Mestrado – FFLCH – USP. 97p.
- CANIL, K. **Indicadores para monitoramento de processos morfodinâmicos: aplicação na bacia do ribeirão Pirajuçara, RMSP, SP.** São Paulo. 2006. Tese de doutorado. FFLCH-USP. 152 p.
- CANIL, K.; MACEDO, E. S.; GRAMANI, M. F.; ALMEIDA FILHO; G. S.; YOSHIKAWA, N. K.; MIRANDOLA, F. A.; VIEIRA, B. C.; BAIDA, L. M. A.; AUGUSTO FILHO, O. A.; SHINOHARA, E. J. Mapeamento de risco em assentamentos precários nas zonas sul e parte da oeste do município de São Paulo (SP). In: *Cartografia Geotécnica e Geoambiental – Conhecimento do Meio Físico: Base Para a Sustentabilidade. Anais: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL, V.* São Carlos 2004. Anais: ABGE São Paulo. ISBN 85-98156-06-X p.193-204.
- CERRI, L. E. S.; AKIOSSI, A.; AUGUSTO FILHO, O.; ZAINÉ, J. E. Cartas e mapas geotécnicos de áreas urbanas, reflexões sobre as escalas de trabalho e proposta de elaboração com o emprego do método do detalhamento progressivo. In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 8.* Rio de Janeiro 1996. *Anais..* Rio de Janeiro, ABGE. v. 2, p.537-547..
- CERRI, L. E. S.; ZAINÉ, J. E.; SILVA, V. C. R.; SILVA, L. C. R.; NÉRI, A. C.; BARBOSA, T. T.A.; PAULA, J. P. L. De; SCARANCE, M. R. A. P.; SILVA, D. M. B. Mapeamento de risco em áreas de ocupação urbana precária nas zonas norte, leste e oeste do município de São Paulo (SP). In: *Cartografia Geotécnica e Geoambiental – Conhecimento do Meio Físico: Base Para a Sustentabilidade. Anais: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL, V.* São Carlos 2004. Anais: ABGE São Paulo. ISBN 85-98156-06-X p.115-122.
- CERRI, L. E. S.; ZAINÉ, J. E.; REIS, F. A. V.. Monitoramento ambiental na área de implantação da rede de gasodutos na região de Rio Claro, SP. In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA.* João Pessoa 2002. SBG São Paulo. Anais. Resumos.
- CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A. *Metodologia Científica.* São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2002. 242p.
- CHAZAN, M.. *Les plan ZERMOS.* Paris, 1974. *Annales Mines.*
- CLARE, K.E. & BEAVAN, P.J. *Roadmaking Materials in Britsh Borneo : I. geology, roadstone and soil classification.* Laboratory Note (Road Research Laboratory), Harmondsworth, n. LN/86, 1957a.
- COGEOENVIRONMENT. **Geindicator Checklist.** (IUSGS) Working Group on Geoindicators, 1995. Arquivo eletrônico: <http://www.lgt.it/geoin>, acesso em maio/2008.
- COSTA NUNES, A. J., 1982. Recuperação de estradas atingidas por chuvas muito intensas. In *Engenharia Geotécnica.* P. 228-49. Rio de Janeiro, Grafine Editora Ltda., 1982.

- COSTA, S. F.. Método Científico – Os caminhos da investigação. São Paulo, Ed. Harba, 2001. 103p.
- DE JORGE, F. N. **Avaliação do desempenho ambiental – proposta metodológica e diretrizes para aplicação em empreendimentos civis e de mineração**. TESE DE DOUTORAMENTO. Escola Politécnica da USP. São Paulo 2001. p.214.
- DE JORGE, F. N.; COSTA R. M.; RIDENTE, J. L. Jr.; NOVELLO NETO, A. V.; AZAMBUJA, C. H. B.; PACHIEGA, A. Jr.. Método, procedimentos e resultados da supervisão ambiental das obras do programa de recuperação de rodovias do Estado de São Paulo. In CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, XI. Florianópolis - 2005. ABGE - São Paulo. Anais: cd-rom.
- DE JORGE, F. N.; NOVELLO NETO, A. V.; PACHIEGA, A. Jr.; AZAMBUJA, C. H. B.; RIDENTE, J. L. Jr.; COSTA R. M.. Análise de ocorrências ambientais em obras de recuperação de rodovias no Estado de São Paulo. In: JORNADA TÉCNICA MEIO AMBIENTE VIÁRIO URBANO E RURAL. São Paulo 2004a. Universidade Mackenzie. Anais: cd-rom.
- DE JORGE, F. N.; NOVELLO NETO, A. V.; PACHIEGA, A. Jr.; AZAMBUJA, C. H. B.; RIDENTE, J. L. Jr.; COSTA R. M.. Metodologia e procedimentos de supervisão ambiental das obras do Programa de Recuperação de Rodovias do Estado de São Paulo. São Paulo 2004b. In: JORNADA TÉCNICA MEIO AMBIENTE VIÁRIO URBANO E RURAL. São Paulo 2004a. Universidade Mackenzie. Anais: cd-rom.
- DECK, O.; LAUMONIER, B.; MERRIEN-SOUKATCHOFF, V.. *An original pedagogical experiment about linear projects*. GEOLINE – Geology and linear structures. Lyon France 2005 IAEG Abstracts. cd-rom.
- DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO – DER; INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. **Taludes de rodovias: orientação para diagnóstico e soluções de seus problemas**. São Paulo DER/SP-IPT 1991. (Publicação IPT no. 1843).
- DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO – DER/SP. Instruções ambientais para empreendimentos rodoviários do DER/SP. São Paulo DER/SP 2006a. [www.der.sp.gov.br](http://www.der.sp.gov.br). Consultado em 15/11/2006 às 01:30h. V.1, 2 e 3.
- \_\_\_\_\_. Relatório interno: Cadastro dos Passivos Ambientais Associados às Rodovias. São Paulo 2006b. Consultado no órgão em 21/09/2006.
- \_\_\_\_\_. Relatório de Avaliação Ambiental do Programa – RAAP, Programa de recuperação de rodovias do Estado de São Paulo. São Paulo 2004. Arquivo eletrônico: [www.der.sp.gov.br](http://www.der.sp.gov.br) . Consultado em 22/01/05 às 13:00h.
- \_\_\_\_\_. Instrução de Projeto – Estudos Geológicos. São Paulo. 2005. DER/SP. IP DE G000/002. [www.der.sp.gov.br](http://www.der.sp.gov.br). Consultado em 15/11/2006 às 24:40h. 27p.

- DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ- DER/PR. Manual de Instruções Ambientais para Obras Rodoviárias. Curitiba. 2000.
- DEPARTAMENTO DE INFRA-ESTRUTURA DO GOVERNO DO ESTADO DE SANTA CATARINA - DEINFRA. Relatório Final do Subprograma Levantamento e Avaliação do Passivo Ambiental da Malha Rodoviária Pavimentada (Volumes I a IV). Florianópolis, julho 2005.
- \_\_\_\_\_. Minuta do Manual de Procedimentos Ambientais – Gestão Ambiental no Setor Rodoviário. Florianópolis. 2004a.
- \_\_\_\_\_. Minuta da. Instrução de Serviço 05 – Estudo e Projeto de Meio Ambiente. Florianópolis. 2004b.
- \_\_\_\_\_. Termo de Referência para o Subprograma de Levantamento e Avaliação do Passivo Ambiental da Malha Rodoviária. 2004c.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER. Norma rodoviária – Mapeamento geológico geotécnico para obra rodoviária. Brasília. 1995. DNER-PRO 014/95. 17p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA E TRANSPORTE - DNIT. Instruções de Proteção Ambiental das Faixas de Domínio e Lindeiras das Rodovias Federais. Rio de Janeiro.2006a.
- DESENVOLVIMENTO RODOVIÁRIO S. A. - DERSA. Manual de Supervisão Ambiental – Rodoanel Mário Covas – Trecho Sul. São Paulo. 2006a. p.77.
- \_\_\_\_\_. DERSA. Solicitação de Licença de Operação - Anel viário de Campinas (SP-083) – Rodovia José Roberto Magalhães Teixeira. Processo SMA/ DAIA nº 477/89. São Paulo. 2006b.
- \_\_\_\_\_. DERSA. Solicitação de Licença de Operação – Interligação Rodoviária (SP-070 / SP-065) e Intersecção SP-070 / SP-066. Processo SMA/ DAIA nº 7.034/92. São Paulo. 2006c.
- \_\_\_\_\_. DERSA. Solicitação de Licença de Operação – Rodovia Carvalho Pinto (SP-070). Processo SMA/ DAIA nº 336/89. São Paulo. 2006d.
- DIAS, E. G. C. S. **Avaliação de impacto ambiental de projetos de mineração no Estado de São Paulo: a etapa de acompanhamento.** TESE DE DOUTORADO. Escola Politécnica da USP. São Paulo 2001. 283p.
- DINIZ, N. C. **Automação da Cartografia Geotécnica: um ferramenta de estudos e projetos para avaliação ambiental.** TESE DE DOUTORADO. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo 1998. Volumes: I e II. 297p.
- DONAIRE, D. Considerações sobre a influência da variável ambiental na empresa. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, p.68-77, mar.-abr. 1994.



- DOWLING, J.W.F. *The Use of Aerial Photography in Evaluating Engineering Soil Conditions in a Selected Area in Northern Nigeria*. Laboratory Note (Road Research Laboratory), Harmondsworth, n. LN/379, 1963.
- DOWLING, J.W.F. *The Use of Aerial Photography and Land Form Analysis in the Location of Laterites*. Laboratory Note (Road Research Laboratory), Harmondsworth, n. LN/523, 1964.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA. *A conceptual framework to support the development and use of environmental information for decision-making*. Environmental statistics and information division. Office of Policy Planning and Evaluation, EPA 230-R-95-012. Washington, 1995.
- FERNANDES, F. M. **Carta geotécnica de suscetibilidade de um trecho da rodovia Marechal Rondon – SP 300**. Rio Claro - no prelo. DISSERTAÇÃO DE MESTRADO IGCE – UNESP. A ser apresentada em 2008.
- FUNDAÇÃO ESCOLA DE SOCIOLOGIA E POLÍTICA DE SÃO PAULO – FESPSP. *Estudo de Impacto Ambiental (EIA) – Programa Rodoanel Mário Covas – Trecho Sul Modificado*. São Paulo. 2004. 8v.
- FLORENZANO, Teresa Gallotti. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo. 2008. Oficina de Textos. 316p.
- FOGLIATTI, M. C., FILIPPO, S., GOUDARD, B. *Avaliação de impactos ambientais: aplicação aos sistemas de transporte*. Rio de Janeiro. Editora Interciência. 249p. 2004. (ISBN 85-7193-108-9).
- FORNASARI FILHO, N. Normas ISO 14000 e certificação: instrumentos de gestão ambiental. In: SIMPÓSIO SOBRE GESTÃO AMBIENTAL, São Paulo. **Anais**. São Paulo: ABGE, 2001. 1 CD-ROM.
- \_\_\_\_\_. (Coord.). *O meio físico em instrumentos de gerenciamento ambiental sob a ótica da ISO 14000*. São Paulo: ABGE. 1996. p. 1-12. (Apostila deCurso).
- FORNASARI FILHO, N.; BRAGA, T. O.; BITAR, O. Y. Auditoria e sistema de gerenciamento ambiental (ISO 14000). In: SIMPÓSIO SUL AMERICANO, 1; SIMPÓSIO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2., Foz do Iguaçu, 1994. **Anais**. Curitiba: Fupef, 1994. p. 22-29.
- FORNASARI FILHO, N.; BRAGA, T. O.; GALVES, M. L.; BITAR, O. Y.; AMARANTE, A.. *Alterações no meio físico decorrentes de obras de engenharia*. São Paulo, 1992. (IPT. Publicação 1972).
- FREITAS, C. G. **Cartografia Geotécnica de Planejamento e Gestão Territorial: Proposta Teórica e Metodológica**. TESE DE DOUTORADO. Departamento de Geografia - FFLCH USP. São Paulo 2000. 204p.
- FREITAS, C. G. L.; ALMEIDA, M. C. J. *Controle preventivo da degradação do ambiente urbano*. Cuiabá 1997. UFMT. Departamento. de Geologia Geral. Apostila do Curso de Especialização Meio físico em estudos de impacto ambiental. 40p.

- GALLARDO, A. L. C. F. **Análise das práticas de gestão ambiental na construção da pista descendente da rodovia dos Imigrantes.** TESE DE DOUTORADO. Escola Politécnica da USP. São Paulo 2004. 321p.
- GALVES, M. L. **Condicionantes geotécnicas no traçado de Rodovias.** TESE DOUTORADO - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1995. 198p.
- \_\_\_\_\_. Sistema de gerenciamento ambiental de empreendimentos rodoviários de acordo com a ISO 14000. In: ENCONTRO IBERO-AMERICANO DE UNIDADES AMBIENTAIS DO SETOR DE TRANSPORTES, 3. Anais eletrônicos. Florianópolis: DNER, 1998. Disponível em: <<http://200.180.3.8/iiiencontro/principal/htm>>. Acesso em: 10/01/2006.
- GALVES, M. L.; AVO, A. M., Investigação do passivo ambiental de rodovias por meio de indicadores de impacto. In SEMINÁRIO NACIONAL A VARIÁVEL AMBIENTAL EM OBRAS RODOVIÁRIAS. Foz do Iguaçu, 1998. Anais Paraná, p. 329-333.
- GARCIA, J. M. P. Interpretação geotécnica de unidades geomorfológicas como contribuição ao zoneamento geotécnico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, X. Ouro Preto 2002. ABGE São Paulo. Anais: cd-rom.
- GARIBALDI, C. M. **Gestão de passivos ambientais associados a escorregamentos em rodovias: contribuições ao cenário metodológico.** TESE DE DOUTADO. Escola Politécnica da USP. São Paulo, 2004. p174.
- GEIPOT – EMPRESA BRASILEIRA DE PLANEJAMENTO DOS TRANSPORTES - Anuário Estatístico dos Transportes do Ano de 2001. Brasília 2006. Anuário 2001 – Arquivo eletrônico acessado em 14/11/2006 <http://www.geipot.gov.br/NovaWeb/IndexAnuario.htm>
- GIL, A. Projetos de Pesquisa. São Paulo. Editora Atlas. 1996. 102p.
- GILBERT, M.J. BS 7750 (futura ISO 14000): sistema de gerenciamento ambiental. São Paulo 1995. IMAM,, 257p.
- GLASSON, G.; THERIVEL, R.; CHADWICK, A. *Introduction to environmental impact assessment.* London 1999. UCL Press 2 ed. 496p.
- GOMES, R. L. & RODRIGUES, J. E.. Carta de suscetibilidade à erosão da região sudeste do município de Campinas – SP. Presidente Prudente 1998 In: : SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSIÃO, 6. ABGE. Anais eletrônicos cd-rom.
- GRAMANI M. F.; OLIVITO, J. P. R.; AUGUSTO FILHO, O.; MAGALHÃES, F. S. Análise da potencialidade de geração de corridas de massa nos trechos serranos do duto OSBAT. In CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, XI. Florianópolis 2005. ABGE São Paulo. Anais: cd-rom.
- GRANT, K. A., *A systematic approach to mapping engineering geology.* São Paulo, 1974. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF ENGINEERING GEOLOGY, 2., Proceedings.

- GRANT, K. *Terrain Evaluation : a logical extension of Engineering Geology*. In : INTERNATIONAL CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGISTS, 1, 1970, Paris. Proceedings..., Paris : 1970, v. 2, p. 971-980.
- GRECCHI, R. C. & PEJON, O.,. Estudos geoambientais da região de Piracicaba (SP), focalizando o problema da erosão linear, com auxílio do Sistema de Informação Geográfica – IDRISI. Presidente Prudente 1998 In: : SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 6. ABGE. Anais eletrônicos cd-rom.
- GRUBER, G. A. G., & RODRIGUES, J. E.,. Carta de erodibilidade da folha de Cosmópolis, São Paulo, auxílio ao gerenciamento do meio físico. São Paulo 1995, In: Revista do Instituto Geológico - IG de São Paulo. Volume especial, 1995, p.57-64.
- INTER-AMERICAN DEVELOPMENT BANK. *Environmental Assessment in the Transportation Sector – Guideline for Managers*. Washington D. C. 1996. 72p.
- INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY AND ENVIRONMENT – IAEG. Estatutos. 1992.
- \_\_\_\_\_ – IAEG. *Guide pour la préparation des cartes géotechniques*. UNESCO. Paris: Les Press de l’Unesco, 1976.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *Environmental management – Environmental performance evaluation – Guidelines – ISO 14.031*. S. L. 1999.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT – Carta Geotécnica do Município de Ubatuba – SP. São Paulo 1991. (IPT Relatório Técnico 28.975 – Cliente SCTDE).
- \_\_\_\_\_ Diagnóstico da situação atual dos Recursos Hídricos e estabelecimento de diretrizes técnicas para a elaboração do Plano da Bacia Hidrográfica do Sapucaí-Mirim/Grande. São Paulo 1999a. (Rel IPT 40.672).
- \_\_\_\_\_ Diagnóstico da situação atual dos Recursos Hídricos e estabelecimento de diretrizes técnicas para a elaboração do Plano da Bacia Hidrográfica do Tietê/Jacaré. São Paulo 1999b. (Rel IPT 40.674).
- \_\_\_\_\_ Diagnóstico da situação atual dos Recursos Hídricos e estabelecimento de diretrizes técnicas para a elaboração do Plano da Bacia Hidrográfica do Turvo Grande. São Paulo 1999c. (Rel IPT40.515).
- \_\_\_\_\_ Plano de Gestão Ambiental do município de Botucatu. São Paulo 2000a. (IPT Parecer Técnico 7.940 - Cliente: SCTDE/PATEM/Prefeitura municipal de Botucatu.).
- \_\_\_\_\_ Diagnóstico da situação atual dos Recursos Hídricos e estabelecimento de diretrizes técnicas para a elaboração do Plano da Bacia Hidrográfica do Pardo. São Paulo 2000b. (Rel IPT 40.670).

- \_\_\_\_\_. Diagnóstico da situação atual dos Recursos Hídricos e estabelecimento de diretrizes técnicas para a elaboração do Plano da Bacia Hidrográfica do São José dos Dourados. São Paulo 2000c. (Rel IPT 40.675).
- IWASA, O. Y., & FENDRICH, R. **Controle de Erosão Urbana**. In: **GEOLOGIA DE ENGENHARIA**, OLIVEIRA, A.M.S. & BRITO, S. N. A.. São Paulo – 1998. ABGE, Cap. 09, p. 271-282.
- KESSELRING, R. C. S. Gestão Ambiental do Programa Rodoviário do Estado do Ceará – II. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, X. Ouro Preto 2002. ABGE São Paulo. Anais: cd-rom.
- KÜLLER, M. L. Gerenciamento ambiental da construtora para implantação do gasoduto Bolívia-Brasil no Cerrado e Pantanal Sul-Matogrossense. In: SIMPÓSIO SOBRE GESTÃO AMBIENTAL, São Paulo, 2001. **Anais**. São Paulo: ABGE, 2001. 1 CD-ROM.
- KÜLLER, M. L. **Gestão Ambiental na Construção Pesada: da Teoria a Prática**. TESE DE DOUTORADO – Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP. Rio Claro 2005. 214p.
- LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. Editora UNESP. São Paulo 2003. 253p.
- LOLLO, J. A. **O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação para a quadrícula de Campinas (SP)**. TESE DE DOUTORADO – Escola de Engenharia de São Carlos – USP. São Carlos 1995.
- LOPEZ, A. G.; FREITAS, C. G. L.; BARROS, M.; RODRIGUES, S. T. Uso da carta geotécnica no macrozoneamento do litoral Norte, São Paulo. In **Revista do Instituto Geológico**. Volume especial. p.91-97. São Paulo 1995.
- MACKAY, I. *Aprendendo a perguntar*. São Paulo, Ed. Nobel, 2001. 68p.
- MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M.. *Técnicas de Pesquisa*. São Paulo: Atlas, 1999. 4. ed. 260p.
- MATULA, M. *Environmental aspects of engineering geological mapping*. In: INTERNATIONAL GEOLOGY CONGRESS, 25, Sydney, 1976. Proceedings.
- MIGLINO, L.C.P. Tratamento dos aspectos ambientais em programas de restauração de rodovias financiados pelo Banco Interamericano de Desenvolvimento. In: IIIº ENCONTRO IBERO-AMERICANO DE UNIDADES AMBIENTAIS DO SETOR TRANSPORTES. São Paulo, 1998. Anais...
- MILARÉ, E.; BENJAMIN, A. H.V. Estudo prévio de impacto ambiental. São Paulo: Revista dos Tribunais, 1993.
- MILES, R. D. *Application of Aerial Photographs to Preliminary Engineering Soil Surveys*. In : SYMPOSIUM ON SURFACE AND SUBSURFACE RECONNAISSANCE, [s.n.], 1951, [s.l.]: American Society Testing Materials, 1951. p. 57.

- MOREIRA, I. V. D. Avaliação de impacto ambiental: instrumento de gestão. São Paulo 1989. In: Planejamento e gerenciamento ambiental. Cadernos FUNDAP, ano 9, n.16. São Paulo: FUNDAP, jun. 1989, p.54-63.
- \_\_\_\_\_. Vocabulário básico de meio ambiente. Rio de Janeiro: Feema/Petrobrás, 1992.
- MORRISON-SAUDERS, A.; ARTS, J.; BAKER, J.; CALDWELL, P. *Roles and stakes in environmental impact assessment follow-up. Impact Assessment And Project Appraisal*, v. 19, n. 4. p.289-296. Guilford 2001.
- MUNN R. E. *Environmental impact assessment: principles and procedures*. SCOPE report 5. Toronto: John Wiley & Sons, 1975.
- NAKAZAWA, V. A.; FREITAS, C. G. L.; DINIZ, N. C. **Carta Geotécnica do Estado de São Paulo**: escala 1:500.000. São Paulo IPT 1994. In: Publicação IPT 2089. 2v. Mapa e 22p.
- NARDO, D. *Roman roads and aqueducts. building history series*. Library Binding 2000. [www.viadomitia.org](http://www.viadomitia.org).
- NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM - NCHRP. *Erosion control during highway construction: manual principles and practices*. Washington, D. C. 1980.
- NISHIYAMA, L. & ZUQUETTE, L. V., Relação entre formas de relevo e materiais inconsolidados da região de Uberlândia-MG e a dinâmica dos processos atuais e pretéritos. São Carlos 1996. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA, 2, 1996. ABGE. p.241-249. Anais eletrônicos cd rom.
- OLIVEIRA, A. M. S., 1994. **Depósitos tecnogênicos e assoreamento de reservatórios. Exemplo do reservatório de Capivara, Rio Paranapanema, SP/PR** TESE DE DOUTORADO - Departamento de Geografia da FFLCH-USP. 2v. p.211.
- OLIVEIRA H. R.; VASCONCELOS C.; ARAGONEZ, R. *Geotechnical Risks Affecting Pipelines: The Bolívia-Brasil Natural Gas Pipeline Experience*. GEOLINE – Geology and linear structures. Lyon France 2005. IAEG Abstracts. cd-rom.
- OLIVEIRA, J. B.; CAMARGO, M. N.; ROSSI, M.; CALDERANO, B. Filho. **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo**. Campinas IAC, 1999. IAC e EMBRAPA. Mapa e 64p.
- OLIVEIRA, R.. *Geological and geotechnical studies associated with the basic design of a new bridge over the Tagus River, North Of Lisbon, at Carregado*. GEOLINE – Geology and linear structures. Lyon France 2005. IAEG Abstracts. cd-rom.
- ONODA. *Experimental research and advancement of a road slope hazard map in Japan*. GEOLINE – Geology and linear structures. Lyon France 2005. IAEG Abstracts. cd-rom.

- PEJON, O. & ZUQUETTE, L. V.. Importância do estabelecimento de cartas de potencial ao escoamento superficial para definição do potencial de risco à erosão acelerada. São Paulo 1995. In: CONGRESSOS BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37. SBG. Anais. p.105-106.
- PERROTA, M. M.; SALVADOR, E. D.; LOPES, R. C.; D'AGOSTINO, L. Z.; PERUFFO, N.; GOMES, S. D.; SACHS, L. L. B.; MEIRA, V. T.; LACERDA FILHO, J. V. Mapa Geológico do Estado de São Paulo, escala 1:750.000. São Paulo, CPRM 2005. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, CPRM, São Paulo.
- PIRES NETO, A. G.; YOSHINAGA, S. O Planejamento territorial no Instituto Geológico: revisão e avaliação da experiência. In **Revista do Instituto Geológico**. Volume especial. p.37-44. São Paulo 1995.
- PONÇANO, V. L., CARNEIRO, C. D. R; ALMEIDA, M. A. A.; BISTRICHI, C. A.; **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo** escala 1:1.000.000 São Paulo, 1981, IPT.;
- PRANDINI, F. L.; NAKAZAWA, V. A.; FREITAS, C. G.; DINIZ, N. C.. Cartas geotécnicas nos planos diretores regionais e municipais. In: Bitar, O. Y. **Curso de Geologia de Engenharia aplicada ao meio ambiente**, São Paulo ABGE, 1995. P. 187-202.
- PRANDINI, F.L.; NAKAZAWA, V.A.; FREITAS, C.G.L. O meio físico e o uso territorial: o papel da geologia de engenharia. In: COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Curso de planejamento ambiental em regiões litorâneas. São Paulo: (CETESB - Série Didática Especial, 4) 1991.
- RAMPAZZO, Lino. Metodologia Científica – para alunos dos cursos de graduação e pós-graduação. São Paulo, Edições Loyola, 2002. 139p.
- REBELO, V.. *Engineering geological studies for the highway A23, Beira Interior Concession (Portugal)*. GEOLINE – Geology and linear structures. Lyon France 2005. IAEG Abstracts. cd-rom.
- REIS, M. J. L. **ISO 14000: gerenciamento ambiental: um novo desafio para a sua competitividade**. Rio de Janeiro Ed. Qualyemark, 1996. 200p.
- RIDENTE JÚNIOR, J. L. **Prevenção e ontrole da erosão urbana: bacia do córrego do Limoeiro e bacia do córrego do Cedro, municípios de Presidente Prudente e Álvares Machado, SP**. DISSERTAÇÃO DE MESTRADO, Instituto de Geociências e Ciências Exatas - IGCE - UNESP. Rio Claro 2000. 101p.
- RIDENTE JÚNIOR, J. L. ; STEIN, D. P.; IWASA, O. Y.; OLIVEIRA, A. M. S.; ALTAFINI, M.. Carta de risco de erosão da área urbana de Botucatu, SP. Bauru, 1995. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 5, ABGE, Resumos expandidos.: ABGE. p.161.
- RIDENTE JÚNIOR, J. L., CANIL, K., IWASA, O.Y., CERRI, L. E. S., AUGUSTO FILHO, O. A. Risco potencial de erosão da área urbana e periurbana de São José do Rio Preto, SP). Presidente Prudente, 1998. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 6, ABGE. Anais eletrônicos cd-rom.

- RODRIGUES, B. B. & PEJON, O.. Susceptibilidade à erosão: inventário e análise para a região de Águas de Lindóia – SP. Presidente Prudente, 1998. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 6, ABGE. Anais eletrônicos cd-rom.
- ROMANINI, P. U. **Rodovias e meio ambiente**: principais impactos ambientais, incorporação da variável ambiental em projetos rodoviários e sistema de gestão ambiental. São Paulo, 2000a, 2v. TESE DOUTORADO – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo.
- ROMANINI, P. U. Rodovias e meio ambiente: principais impactos ambientais, incorporação da variável ambiental em projetos rodoviários e Sistema de Gestão. In. SECRETARIA DOS TRANSPORTES DO ESTADO DE SÃO PAULO. São Paulo 2000b V3. P.2059-64
- ROMANINI, P. U. Avaliação de desempenho ambiental. In: **No prelo**. SECRETARIA DOS TRANSPORTES DO ESTADO DE SÃO PAULO. São Paulo 2006. 16p.
- ROSS, J. L. S. Análises e sínteses na abordagem geográfica da pesquisa para o planejamento ambiental. In: **Revista do Departamento de Geografia**, 9. São Paulo, FFLCH – USP 1995. ISSN 0102-4582. p.65-75.
- ROSS, J.L.S.; MOROZ, I.C. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: FFCLH-USP/ IPT/ FAPESP, 1997. Escala 1:500.000.
- RUESGA, S.M.; DURÁN, G. (Org.). *Empresa y medio ambiente*. Madrid 1995. Ed. Pirámide, p. 151-172.
- RUIZ, J. A.. Metodologia Científica: guia para eficiência nos estudos. São Paulo: Atlas 4 ed, 1996. 177p.
- SALOMÃO, F. X. T. **Processos erosivos lineares em Bauru (SP): Regionalização cartográfica aplicada ao controle preventivo urbano e rural**. TESE DE DOUTORAMENTO. DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA DA FFLCH-USP. 200p. São Paulo 1994.
- SALSA, C. M. P. Código de obras, um instrumento de gestão ambiental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, X. Ouro Preto 2002. ABGE São Paulo. Anais: cd-rom.
- SANCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. São Paulo. 2006. Oficina de textos. 495p.
- \_\_\_\_\_. As etapas iniciais do processo de avaliação de impacto ambiental. In: SÃO PAULO. Secretaria do Meio Ambiente. Avaliação de impacto ambiental. São Paulo: SMA, 1998. v.1, p.35-55.
- \_\_\_\_\_. Gerenciamento ambiental e a indústria de mineração. São Paulo. **Revista de Administração**, v.29, n.1, p.67-75, 1994.
- \_\_\_\_\_. O processo de avaliação de impacto ambiental, seus papéis e funções. São Paulo 1995. In: A.L.B.R. Lima; H.R. Teixeira; L.E. Sánchez (Org.), **A efetividade da avaliação de impacto ambiental no Estado de São Paulo**. São Paulo: SMA, 1995. p. 13-19.

- \_\_\_\_\_. Os papéis da avaliação de impacto ambiental. In: L.E. Sánchez (Org.) Avaliação de impacto ambiental: situação atual e perspectivas. São Paulo: EPUSP, nov. 1991, 18p.
- SÁNCHEZ, L. E.; SILVA, S. S.; PAULA, R. G. Gerenciamento ambiental e medição de conflitos: um estudo de caso. São Paulo 1993. In: CONGRESSO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE MINAS, 2. Anais. São Paulo, EPUSP, p. 475-496.
- SANEJOUAND, R. *La cartographie géotechnique em France*. Paris, 1972. Ministère de l'Équipement et du Logement.
- SANTOS, A. R. Fundamentos filosóficos e metodológicos da geologia de engenharia. São Paulo, 1994. Comunicação técnica. IPT publicação 2088. 6p.
- SANTOS, A. R. **Geologia de Engenharia: conceitos, método e prática**. São Paulo, ABGE, 2002. ISBN 85-09-00121-9. ABGE – IPT. p.127-129
- SARRA, P. R.; FREITAS, R.; BENTO, J.. *New road access to Funchal Port (Madeira Island – Portugal). Engineering geological studies and design options in a volcanic environment*. GEOLINE – Geology and linear structures. Lyon France 2005. IAEG Abstracts. cd-rom.
- SCARANCE, M. R. A. P. **Diretrizes para a realização de investigações geológicas e geotécnicas voltadas à análise de estabilidade de encostas e taludes**. Rio Claro. 2004. Monografia. IGCE – Unesp. 83p.
- SCHOFIELD, A.N. *The Use of Aerial Photographs in Road Construction in Nyasaland*. Overseas Bulletin (Road Research Laboratory), Harmondsworth, n. 4, 1957a.
- SCHOFIELD, A.N. *Nyasaland Laterites and their Indications on Aerial Photographs*. Overseas Bulletin (Road Research Laboratory), Harmondsworth, n. 5, 1957b.
- SHANG, Y. J. *Geological hazards classification and engineering geological zonation for the Linzhi-Basu Section Of Sichuan-Tibet Highway*. GEOLINE – Geology and linear structures. Lyon France 2005. IAEG Abstracts. cd-rom.
- SILVA, E. **Avaliação qualitativa de impactos ambientais do reflorestamento no Brasil**. 1994. 309 p. Tese (Doutorado) - UFV, Viçosa, 1994.
- SILVA, V. C. R. **Planejamento do sistema de gestão ambiental de linhas de transmissão aérea localizada em área serrana com unidade conservação**. São Paulo. 2002. Tese de doutorado. Poli – USP. 228p.
- SIJING, W.. *Geolines: New Challenge to the Engineering Development of China*. GEOLINE – Geology and linear structures. Lyon France 2005. IAEG Abstracts. cd-rom.
- SOUZA, N.C.D.C. **Mapeamento Geotécnico Regional da Folha de Aguai : com base na compartimentação por formas de relevo e perfis típicos de alteração**. São Carlos : EESC/USP. 1992. 2.v. DISSERTAÇÃO MESTRADO - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 1992.



- SPADOTTO, C. A. Classificação de Impacto Ambiental. Comitê de Meio Ambiente, Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas. 2002. [online] Disponível: <http://www.cnpma.embrapa.br/herbicidas/> [Acessado em 20/05/2008].
- TER SPEPANIAN, G. *Beginning of the Technogene*. Paris 1988. Bull. IAEG n° 38.
- TOLEDO, B. L. **O Real Corpo de Engenheiros na Capitania de São Paulo, destacando-se a obra do brigadeiro João da Costa Ferreira** - TESE DE DOUTORADO - Escola Politécnica – USP. São Paulo, 1981 -.
- VEDOVELLO, R. **Zoneamentos geotécnicos aplicados à gestão ambiental, a partir de unidades básicas de compartimentação – UBCs**. TESE DE DOUTORADO – Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP. Rio Claro 2000. p.153
- VALLE, C.E. *Qualidade ambiental: o desafio de ser competitivo protegendo o meio ambiente*. Rio de Janeiro Ed. Pioneira, 1995. 117p.
- VALLEJO, L. I. G., (Coordenador), FERRER, M. ORTUÑO, L., OTEO, C.. *Ingeniería Geológica*. Madrid Pearson Educación, 2002. ISBN 84-205-3104-9. p.744
- VARNES, D. J. *The logic of engineering geological and related maps. A discussion of the definition and classification of map units, with special references to problems presented by maps intended for uses in civil engineering*. USA 1974. U. S. Geological Survey. Professional paper 837.
- VERSTAPPEN, H. T. *Remote Sensing in Geomorphology*. Elsevier Science Publishers, 214p., 1977.
- WATHERN, P. *An introductory guide to EIA*. In: WATHERN, P. (Ed.) **Environmental impact assessment: theory and practice**. London Ed. Unwin Hyman, 1988.. p. 3-30.
- WLODARCZYK, T. L. *Improving monitoring and follow-up in canadian environmental assesment*. Hong Kong 2000. In: ANNUAL MEETING OF INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT, 20. IAIA'20 back to the future conference. Proceedings: cd-rom.
- WORLD BANK. *Environmental indicators – an overview of selected initiatives at the World Bank*. Washington D. C. 2000. Arquivo eletrônico [www.worldbank.org](http://www.worldbank.org) consultado em 1º/12/2006. Environmental Department. 12p..
- \_\_\_\_\_. *Environmental management plans*. Washington D. C. 1999. Environmental Assessment Sourcebook Update 25. Environmental Department. 7p..
- \_\_\_\_\_. *Environmental performance monitoring and supervision*. Washington D. C. 1996. Environmental Assessment Sourcebook Update 14. Environmental Department. 8p..
- \_\_\_\_\_. *Roads and the environment – a handbook*. Technical Paper n. 376 Washington D. C. 1997. 223p
- ZAINE, J. E. **Mapeamento Geológico-Geotécnico por meio do método do detalhamento progressivo: ensaio de aplicação na área urbana do município de Rio Claro (SP)**. Rio Claro 2000. IGCE UNESP. Tese de Doutorado. 148p.

ZUQUETTE, L. V.; GANDOLFI, N.. **Cartografia Geotécnica**. São Paulo, Oficina de Textos, 2004. ISBN 85-86238-38-4

ZUQUETTE, L. V. **Análise crítica sobre cartografia geotécnica e proposta metodológica para as condições brasileira**. TESE DE DOUTORADO – Escola de Engenharia de São Carlos – USP. São Carlos, 1987.

ZUQUETTE, L. V. Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio-físico: fundamentos e guia para elaboração. TESE DE LIVRE DOCÊNCIA – Escola de Engenharia de São Carlos – USP. São Carlos 1993.

ZUQUETTE, L. V.; NAKAZAWA, V. A., Cartas de Geologia de Engenharia. In: **Geologia de Engenharia**, OLIVEIRA, A.M.S. & BRITO, S. N. A.. São Paulo – ABGE 1998, Cap. 17, p. 283-298.

**APÊNDICE 1 - ROTEIRO PARA A ENTREVISTA SEMI-ESTRUTURADA COM OS  
RESPONSÁVEIS DAS ÁREAS AMBIENTAIS DOS ÓRGÃOS RODOVIÁRIOS E  
RESULTADOS**

**APÊNDICE 2 - QUESTIONÁRIO PARA TÉCNICOS DE EMPRESAS DE  
CONSULTORIA EM MEIO AMBIENTE RODOVIÁRIO E RESULTADOS**

**APÊNDICE 3 - CARTA DE FEIÇÕES DE EROSÃO E PASSIVOS AMBIENTAIS NA  
ESCALA 1:50.000, FICHAS DE CADASTRO DE PASSIVOS AMBIENTAIS, E  
CÁLCULO DE INVESTIMENTOS**

## **APÊNDICE 4 - CARTA DE DECLIVIDADE DO TERRENO NA ESCALA 1:50.000**

## **APÊNDICE 5 - CARTA GEOTÉCNICA NA ESCALA 1:50.000**

**APÊNDICE 6 - CARTA DE ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE NA  
ESCALA 1:10.000**



## **APÊNDICE 7 - CARTA DE DECLIVIDADE DO TERRENO NA ESCALA 1:10.000**

## **APÊNDICE 8 - CARTA GEOTÉCNICA NA ESCALA 1:10.000**

## **APÊNDICE 9 - RESULTADOS DA AUDITORIA AMBIENTAL DO SISTEMA DE DRENAGEM**

**APÊNDICE 10 – FLUXOGRAMA DAS DIRETRIZES PARA O ESTUDO DO MEIO FÍSICO COM VISTAS AO DESENVOLVIMENTO DE INSTRUMENTOS DE UM SISTEMA DE GESTÃO AMBIENTAL DE RODOVIAS EM OPERAÇÃO**