

ANÁLISE DE CARTAS DE SUSCETIBILIDADE À EROÇÃO EM DIFERENTES ESCALAS PARA A GESTÃO AMBIENTAL DE RODOVIAS

Analysis of erosion susceptibility maps in different scales for the environmental management of roads

José Luís Ridente Júnior*

Leandro Eugenio Silva Cerri**

RESUMO – Cartas de suscetibilidade à erosão podem ser utilizadas como subsídio para o desenvolvimento de instrumentos de gestão ambiental. Os resultados da pesquisa aqui apresentados discutem a qualidade das informações de cartas em diferentes escalas, elaboradas visando a gestão ambiental de rodovias. Para tanto, foi desenvolvida pesquisa em trecho da Rodovia Marechal Rondon SP-300, nos municípios de Anhembi e Botucatu, no estado de São Paulo - Brasil. A investigação, utilizando o método do detalhamento progressivo, partiu da análise de mapas e cartas em escala regional (escala 1: 1 000 000 e 1: 500 000), culminando na elaboração de cartas de suscetibilidade à erosão nas escalas 1: 50 000 e 1: 10 000, além de outros levantamentos específicos. Paralelamente, desenvolveu-se uma análise sobre os Sistemas de Gestão Ambiental – SGA em órgãos rodoviários. 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.

SYNOPSIS – The erosion susceptibility maps can support the development of environmental management instruments. The research results presented discuss the quality of the information of maps in different scales as environmental management instruments. The activities of this research were focused on the SP-300 Highway, in the municipalities of Anhembi and Botucatu, in the state of São Paulo - Brazil. The studies were based on maps in regional scales (1: 1 000 000 and 1: 500 000), using the progressive detailing method. They were complemented by the elaboration of erosion susceptibility maps in scales 1: 50 000 and 1: 10 000, and by other specific surveys. In parallel, a detailed analysis was performed of Environmental Management Systems – EMS implemented by organisms responsible for road maintenance. As a result of this research, the following instruments were developed to set up an EMS: Characterization of Environmental Impact, Environmental Audit, Recovery of Degraded Areas and Environmental Monitoring.

PALAVRAS CHAVE – Erosão, gestão ambiental, rodovia.

1 – INTRODUÇÃO

A importância econômica e social das rodovias é significativa para o Brasil. A distribuição do transporte de carga no Brasil, em toneladas, é realizada 60,49% por rodovias; 20,86% por ferrovias; 13,86% por meio aquaviário; 4,86% em dutovias; e 0,33% por via aérea (GEIPOT, 2006). Ainda,

* Geólogo, Doutor, Programa de Pós Graduação em Geociências e Meio Ambiente, IGCE/Unesp, Rio Claro (SP), Brasil. E-mail: jlridente@uol.com.br.

**Geólogo, Professor Adjunto, Universidade Estadual Paulista (IGCE/Unesp), Rio Claro (SP), Brasil. E-mail: lescerri@rc.unesp.br.

segundo dados do Ministério dos Transportes, existem 1 724 929 km de rodovias implantadas no país, sendo apenas 149 064 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 (cerca de 38%).

Quando da implantação e operação de uma rodovia, as condições ambientais (meios físico, biótico e socioeconômico) são modificadas e sempre sofrem algum tipo de impacto ambiental. São gerados impactos negativos sobre o meio biótico devido à supressão de vegetação, interferência nos habitats naturais, etc. Também, são gerados impactos sobre o meio socioeconômico, de diferentes naturezas, positivas e negativas, devido à interferência com a população que reside ao redor do empreendimento. Neste artigo serão abordados apenas os impactos ambientais negativos relacionados ao meio físico, mais precisamente sobre a erosão pluvial do solo.

Os principais impactos ambientais negativos do meio físico relacionados à 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).

A dinâmica dos processos de erosão linear 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, além da implantação de instrumentos de um Sistema de Gestão Ambiental – SGA, que proporcionarão a minimização de impactos ambientais (Bitar e Ortega, 1998).

O Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo – DER/SP têm cadastrados os passivos ambientais relacionados às rodovias sob sua responsabilidade. Esse cadastro indica que existe em média uma área degradada a cada 10 km de rodovia (DER, 2006b). Dentre os passivos ambientais cadastrados, foram registradas as feições de escorregamentos de encostas e taludes, erosão de diferentes tipos, assoreamento, subsidência e colapsos, sendo a erosão o processo mais comum e mais numeroso, correspondendo a cerca de 60% dos casos.

O histórico da formação da erosão está ligado a diferentes causas relacionadas aos procedimentos de obra, tais como: movimentos de terra; sistemas de drenagem inexistentes, sem manutenção ou ineficientes; ausência de cobertura vegetal em taludes de corte e aterro; inclinação excessiva dos taludes; antigas áreas de apoio às obras (áreas de empréstimo, depósitos de material excedente, mineração) abandonadas, etc.; onde também interferem as características naturais do terreno, como o perfil de alteração dos solos tropicais e o relevo, e ainda a pluviometria torrencial causadora de escoamento concentrado.

O presente artigo discute aspectos da utilização de cartas de suscetibilidade à erosão, elaboradas em diferentes escalas (1: 50 000 e 1: 10 000), como subsídio para a definição de instrumentos de gestão ambiental de rodovias. A análise do meio físico e do processo de erosão pluvial “acelerada” é tratada a partir da descrição dos condicionantes do meio físico (geológicos, geomorfológicos, geotécnicos e pedológicos), associados aos perfis típicos de alteração existentes na área de estudo.

Foi selecionado um trecho rodoviário da SP-300 (Rodovia Marechal Rondon), sob responsabilidade do DER/SP, entre os quilômetros 223 e 257 (ligando os municípios de Anhembi a Botucatu). A área de estudo possui um total de 70,24 km², sendo representada por faixa com extensão de 33 km ao longo da rodovia, com largura de um quilômetro para cada lado da rodovia. A Figura 1 ilustra a localização da área de estudo.

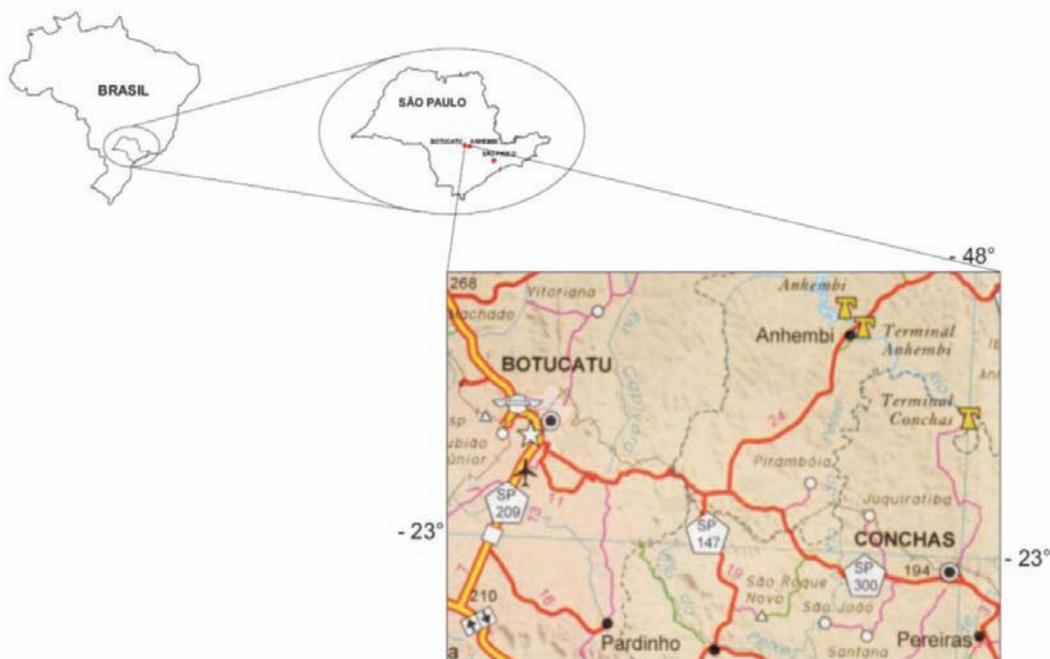


Fig. 1 – Localização da área de estudo.

2 – MÉTODO

A partir da adoção do conceito de Geologia de Engenharia (IAEG, 1992), buscou-se um adequado conhecimento geológico-geotécnico dos terrenos de interesse (diagnóstico do meio físico), tendo como objetivo prever o comportamento dos diferentes materiais presentes, frente a um tipo de intervenção humana – no caso do presente estudo uma rodovia em operação.

A pesquisa em questão contemplou cinco etapas principais (Figura 2).

2.1 – Formulação do problema – 1ª Etapa

O trabalho inicial da pesquisa bibliográfica fundamentou os seguintes assuntos: escolha da área de estudo, definição do método para a elaboração das cartas de suscetibilidade à erosão nas escalas 1: 50 000 e 1: 10 000 e escolha do método para análise dos SGAs dos órgãos rodoviários. O critério adotado para a escolha da área de estudo foi:

- Região reconhecida como de alta a muito alta suscetibilidade aos processos erosivos;
- Região 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.

Etapas da pesquisa	Meio Físico (levantamentos)	Resultados		Sistema de Gestão Ambiental (levantamentos)
		Meio Físico	SGA	
1ª Formulação do problema	<ul style="list-style-type: none"> – Pesquisa bibliográfica; – Coleta de dados regionais e materiais disponíveis; – Definição do processo do meio físico a ser estudado. 	<ul style="list-style-type: none"> – Erosão como processo a ser estudado; – Arquivo de materiais para o início da pesquisa. 	<ul style="list-style-type: none"> – Análise dos trabalhos desenvolvidos sobre meio ambiente pelos órgãos rodoviários. 	<ul style="list-style-type: none"> – Pesquisa bibliográfica; – Visita a órgãos rodoviários e realização de entrevistas informais; – Definição dos critérios para a escolha da área de estudo.
		Definição da área de estudo.		
▼				
2ª Planejamento da coleta de dados	<ul style="list-style-type: none"> – Análise dos mapas regionais; – Planejamento da carta de suscetibilidade; – Preparação de materiais. 	<ul style="list-style-type: none"> – Descrição do meio físico e da sua relação com os processos de erosão; – Base cartográfica na escala 1: 50 000; – Aquisição de fotografias aéreas. 	<ul style="list-style-type: none"> – Método da pesquisa sobre os SGAs dos órgãos rodoviários (entrevistas e questionário). 	<ul style="list-style-type: none"> – Planejamento da pesquisa sobre os SGAs dos órgãos rodoviários.
		<ul style="list-style-type: none"> – Análise da resposta dos mapas regionais com relação aos instrumentos do SGA. 		
▼				
3ª Estudos de semi-detalle	<ul style="list-style-type: none"> – 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); – Preparação da base cartográfica na escala 1: 10 000. 	<ul style="list-style-type: none"> – Carta de suscetibilidade a erosão na escala 1: 50 000; – Mapa de feições de erosão; – Área piloto para os levantamentos de detalhe; – Base cartográfica 1: 10 000. 	<ul style="list-style-type: none"> – Instrumentos de um SGA a serem desenvolvidos. 	<ul style="list-style-type: none"> – Elaboração do questionário e do roteiro para as entrevistas; – Realização das entrevistas e aplicação do questionário.
		<ul style="list-style-type: none"> – Desenvolvimento do instrumento de Caracterização de Impacto Ambiental; – Análise da resposta da carta com relação aos instrumentos do SGA. 		
▼				
4ª Estudos de detalhe	<ul style="list-style-type: none"> – Interpretação das fotografias aéreas (unidades do terreno); – Mapa de declividade dos terrenos; – Levantamento de campo (conferir unidades e levantamento dos perfis típicos); – Comparação com o produto de semi-detalle. 	<ul style="list-style-type: none"> – Carta de suscetibilidade à erosão na escala 1:10 000. 	<ul style="list-style-type: none"> – Banco de dados dos passivos ambientais. 	<ul style="list-style-type: none"> – Levantamento de campo (cadastro de passivos ambientais e levantamento do sistema de drenagem).
		<ul style="list-style-type: none"> – Auditoria Ambiental do sistema de drenagem; – Plano de Recuperação de Áreas Degradadas; – Plano de Monitoramento Ambiental; – Análise da resposta dos produtos desta etapa com relação aos instrumentos do SGA. 		
▼				
5ª Conclusão	<ul style="list-style-type: none"> – Análise geral dos resultados; – Obtenção das conclusões da pesquisa. 			

Fig. 2 – Fluxograma do método da pesquisa.

2.2 – Planejamento da coleta de dados – 2ª Etapa

Nesta etapa foram realizados os primeiros trabalhos investigativos, onde foi caracterizado regionalmente o meio físico da área de estudo, por meio da análise de mapas em escala regional (1: 500 000). Foi elaborado o planejamento da pesquisa sobre SGA.

O produto principal desta etapa foi 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. Nesta etapa definiu-se a adoção do método do detalhamento progressivo (Cerri *et al.*, 1996; Zaine, 2000). Este autor apresenta produtos em três etapas: geral (escala 1: 25 000), semi-detalhe (escala 1: 10 000) e detalhe (escala 1: 5000). Foram adotadas as seguintes escalas para a realização dos estudos: estudos regionais (escala 1: 500 000 a 1 000 000), semi-detalhe (escala 1: 50 000) e detalhe (escala 1: 10 000).

Com base nos processos do meio físico, reconhecidos nos estudos regionais (Diniz, 1998; Freitas, 2000) foi definido que a carta a ser elaborada, na escala de semi-detalhe (1: 50 000), seria uma Carta de Suscetibilidade à Erosão, com o objetivo de aplicação na Gestão Ambiental.

Nesta etapa teve início a preparação do material cartográfico para o desenvolvimento da pesquisa: base cartográfica na escala 1: 50 000 e fotografias aéreas em formato *raster* (obtidas em 2006, escala 1: 30 000). Para os estudos realizados na escala 1: 50 000 adotou-se o seguinte critério: para a área a ser analisada, uma equidistância de 1 km para cada um dos lados da rodovia a partir de seu eixo, traçados por meio de um *buffer* no software *ArcGis versão 9.2* (ESRI®).

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; e Logradouros. As feições espaciais foram vetorizadas utilizando-se do aplicativo *ArcMap-ArcGIS* (ESRI®), a partir da extensão *ArcScan* (módulo de vetorização automática), tendo como fonte as cartas topográficas disponíveis para a área de estudo.

Nesta etapa também foi planejada a coleta de dados sobre SGA em órgãos rodoviários. Foi constatado que as áreas ambientais desses órgãos possuem equipes técnicas bastante reduzidas frente às suas atribuições, responsabilidades e funções. Por esta razão, a maior parte das atividades são transferidas para empresas de consultoria.

2.3 – Estudos de semi-detalhe – 3ª Etapa

Nesta etapa foram realizados os levantamentos de dados para a elaboração da Carta de Suscetibilidade à Erosão na escala 1: 50 000 e, também, foram realizadas as entrevistas e aplicados questionários direcionados ao entendimento da gestão ambiental nos órgãos rodoviários. Foram ainda definidos os instrumentos de Gestão Ambiental a serem abordados pelos estudos.

A Carta foi elaborada por meio da interpretação de fotografias aéreas na escala 1: 30 000 (datada de 2006), análise da declividade dos terrenos e descrição dos perfis geológicos/geotécnicos destas unidades de terreno. Por meio da interpretação de fotografias aéreas foram individualizadas as unidades com base nas 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, além das características: geológica, pedológica e vegetacional.

A compartimentação do terreno foi realizada com base no conceito explicitado por Ross (1995) e Vedovello (2000), que propõem que a unidade do relevo representa 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. Vedovello (2000) denomina as unidades fisiográficas do terreno de Unidades Básicas de Compartimentação – UBCs, mas serão chamadas de 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* (ESRI®), com os intervalos variando de 0-3%, 3-10%, 10-20% e >20%. A carta de declividade da área de estudo foi gerada a partir da ferramenta *Topogrid* do *software ArcGIS* versão 9.2 (ESRI®), com um *grid* de 20 m, 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; drenagem (rios, córregos, etc.); e limite da área de estudo (*Buffer*). Os intervalos foram definidos com base nos tipos de solo identificados na caracterização regional, sendo que para cada intervalo de declividade do terreno há um predomínio de um determinado tipo de solo, cada qual refletindo um comportamento distinto no que se refere à suscetibilidade à erosão (Ridente, 2000).

Após a definição das unidades do terreno e a caracterização física preliminar 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 do terreno e descrever o perfil geológico-geotécnico típico de cada uma delas. Foram caracterizados os perfis geológico-geotécnicos com o objetivo de descrever os tipos de solo e rocha para cada uma das unidades do terreno (Souza, 1992). Foi planejada a descrição de um ponto de controle a cada nova unidade de terreno que fosse atravessada pela rodovia. Os limites das unidades foram ajustados a partir das observações de campo, por meio da comparação entre a interpretação das fotografias aéreas, do mapa de declividade e dos perfis descritos *in loco*.

Os perfis geológico-geotécnicos foram descritos em taludes da rodovia ou em taludes de estradas adjacentes. Foi elaborada uma ficha de campo para o registro do local e descrição dos perfis. No primeiro momento foi analisada a gênese do solo superficial, depois caracterizado o perfil como um todo. Foram descritos o solo superficial orgânico, os horizontes pedológicos, a relação com a rocha de origem e a posição do nível freático. Os parâmetros utilizados para a descrição foram textura, cor e espessura, grau de alteração, etc. (Souza, 1992; Vaz, 1996).

Para auxiliar na definição das unidades de suscetibilidade à erosão, foram interpretadas as feições de erosão existentes. As feições foram interpretadas por meio da utilização das fotografias aéreas. Foram levantados os processos de erosão de pequeno porte (sulcos) e de grande porte: ravinas que são formadas exclusivamente pelo escoamento superficial (formato em “V”) e boçorocas que também têm influência do lençol freático no seu desenvolvimento (*piping*) (Ridente, 2000). 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 auxiliou na definição da suscetibilidade à erosão. Algumas destas feições foram verificadas e descritas em campo.

A pesquisa sobre Gestão Ambiental teve prosseguimento por meio da elaboração de questionários para os técnicos de empresas de consultoria e elaboração de um roteiro de perguntas para a entrevista semi-estruturada com os gestores ambientais de órgãos rodoviários. 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 e Lakatos, 1999). O questionário foi encaminhado ao informante por correio eletrônico e, depois de preenchido, devolvido pelo informante utilizando o mesmo meio. Foram escolhidos 16 técnicos para o encaminhamento do questionário de forma aleatória, selecionados por meio da indicação dos órgãos rodoviários entrevistados e também de empresas de consultoria.

Tanto o roteiro da entrevista quanto o questionário foram testados anteriormente, com base na sugestão de Rampazzo (2002) para a qualificação da coleta de dados. Para os órgãos que aceitaram convite, foram realizadas as entrevistas na forma presencial.

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; estabelecimento de uma relação de confiança com o entrevistado; busca de informações complementares; estímulo do entrevistado por meio de questionamentos reflexivos; e cuidados para encerrar o tema antes de iniciar outro.

A realização das entrevistas, os contatos realizados para a aplicação dos questionários, o levantamento de dados para a elaboração da carta e a pesquisa bibliográfica, resultaram na definição dos instrumentos de SGA utilizados no desenvolvimento da pesquisa.

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, porém analisa-se também o contexto regional do empreendimento.

Para tanto, utilizou-se o método *ad-hoc*, pois a análise é produto da interpretação de um único pesquisador, de uma área específica do conhecimento (Fogliatti, Filippo e Goudard, 2004). Neste caso, o indicador ambiental a ser analisado foi a erosão. Conforme definido por Munn (1975), a erosão pode ser considerada como um parâmetro de medida da magnitude do impacto ambiental e também como medida das condições ambientais.

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 e assim analogamente para média e baixa suscetibilidade. Entende-se que para uma área restrita, como a da pesquisa, 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 (Sanchez, 2006). A análise de importância do impacto se fundamentou nos conceitos da Resolução CONAMA 1/86, com relação à expressão, origem, duração, alcance, reversibilidade e cumulatividade (Quadro 1).

Quadro 1 – Critérios para análise da importância do impacto ambiental da erosão relacionada à rodovia.

Importância	Magnitude	Expressão	Alcance	Duração	Reversibilidade	Cumulatividade
Alta	Alta suscetibilidade do terreno	Alta densidade de feições	Interfere diretamente na rodovia e atinge o recurso hídrico (regional)	Recuperação da área requer procedimento complexo	Recurso hídrico encontra-se assoreado	Existe captação para abastecimento público a jusante do recurso hídrico
Média	Média suscetibilidade do terreno	Média densidade de feições	Pode vir a interferir somente com a rodovia (local)	Recuperação da área pode ser realizada com procedimento normal de engenharia	Recurso hídrico encontra-se pouco assoreado	Recurso hídrico utilizado apenas para abastecer propriedades rurais
Baixa	Baixa suscetibilidade do terreno	Baixa densidade de feições	Não irá interferir com a rodovia	Recuperação com procedimento simples	Recurso hídrico não encontra-se assoreado	Recurso hídrico não é utilizado para abastecimento

2.4 – Estudos de detalhe – 4ª Etapa

A 4ª etapa caracterizou-se pelo detalhamento dos estudos da carta de suscetibilidade à erosão visando a subsidiar os instrumentos de gestão ambiental. Foi elaborada a carta na escala 1: 10 000 em trecho piloto da rodovia entre os quilômetros 231 e 236,7 (5,7 km), cadastrados os passivos ambientais, realizada a auditoria ambiental, elaborado o plano de recuperação de áreas degradadas e elaborado o plano de monitoramento.

Para a elaboração da carta na escala 1: 10 000 foram repetidos os procedimentos realizados para a elaboração da carta de suscetibilidade à erosão na escala 1: 50 000. A carta de declividade da área de estudo foi gerada a partir da ferramenta *Topogrid* do *software ArcGIS* versão 9.2 (ESRI®), com um *grid* de 1 m, num “*buffer*” de 200 m para cada lado da rodovia, na escala 1: 10 000, perfazendo um total de 5,67 km².

Por se tratar de uma análise de maior detalhe e por identificar na interpretação das fotografias aéreas uma ruptura positiva do relevo, foram adotados os intervalos de declividade: 0%-3%, 3%-9%, 9%-15%, 15%-45% e >45%.

Foi realizada nova etapa de campo para caracterização dos perfis de alteração típicos e conferência das unidades de suscetibilidade. Neste levantamento de campo também foi realizado o cadastro de passivos ambientais, sendo analisada a influência dos processos de erosão na integridade da rodovia, com as condições ambientais, eventualmente com a segurança dos usuários e, também, a auditoria ambiental sobre as condições do sistema de drenagem.

O levantamento dos passivos ambientais seguiu a proposta elaborada pelo DER/SP (2006a e 2006b). O método do DER/SP apresenta um *check-list*, onde são descritos a localização, o tipo de degradação, suas condicionantes e é feita uma análise da gravidade da situação, denominada de relevância do passivo ambiental.

É classificado o risco como: oferece risco, poderá oferecer risco ou não oferece risco (Carvalho, 1991). Alguns agravantes foram considerados, como: se o processo se encontrava a montante de captação de água, se ocorria em solo arenoso, se o índice pluviométrico era elevado (> 2000 mm/ano) e se existia unidade de conservação ambiental. Por último, foram considerados os atenuantes: presença de cobertura vegetal e ausência de escoamento concentrado de água.

O índice de Relevância do Passivo Ambiental (RPA) define-se como:

$$RPA = I + R + Ag - F \quad (1)$$

onde: I – Interferência (impacto do passivo); R – Risco; Ag – Agravante; F – Atenuante.

Para cálculo do RPA foram atribuídos valores a cada parcela que compõe o índice, os quais são cumulativos no caso do passivo apresentar mais de uma característica. O resultado do RPA é um critério para a priorização de intervenções e recuperação dessas áreas.

Interferência (I)

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

$$I = \sum_{j=1}^n IMP_j E_j \quad (2)$$

Grau de Risco (GR)

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

$$R = \sum_{j=1}^n GR_j E_j \quad (3)$$

Agravantes (Ag)

Aspectos Ambientais (AA)	Valor	Peso (E)
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	

$$Ag = \sum_{j=1}^n AA_j E_j \quad (4)$$

Atenuantes (F)

Características Ambientais (CA)	Valor	Peso (E)
1 – Presença de cobertura vegetal	5	0,1
2 – Não há escoamento concentrado de água	5	
3 – Sem atenuantes	0	

$$F = \sum_{j=1}^n CA_j E_j \quad (5)$$

Para o levantamento da infra-estrutura de drenagem rodoviária (auditoria ambiental) foi desenvolvido um formulário na forma de um *check-list*, onde foram descritas a localização, o tipo de sistema de drenagem e as condições de funcionamento das obras de infra-estrutura. Foi considerado o conjunto composto por captação, condução e saída da água pluvial. A classificação quanto às suas condições foi dividida em quatro categorias, sendo: existente, inexistente, satisfatória, precária e parcialmente destruída.

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 se encontra em pleno funcionamento, não necessitando de nenhum tipo de reparo. A classificação como precária indica uma situação de não funcionamento pleno, que pode ser causada por algumas situações: sub-dimensionamento, má execução, falta de algum item da drenagem (captação, condução ou dissipação) ou destruição ou falta de manutenção. 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 itens da drenagem encontram-se avariados, comprometendo o seu funcionamento.

Após a realização dos trabalhos de descrição da auditoria ambiental, foi realizada uma análise de risco para cada uma das situações. A classificação foi efetuada por meio da avaliação de perigo que oferecem em relação à possibilidade de gerar danos aos usuários, ao meio ambiente e à população lindeira, 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;
- **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 coloquem em risco 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 de suscetibilidade à erosão, 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, 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.

A priorização das áreas a serem monitoradas foi definida com base nas cartas (Sanchez, 2006), 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. Estes procedimentos fundamentam-se na prevenção da erosão e no planejamento do controle.

Utilizando-se das cartas, também foram considerados os indicadores das condições do meio ambiente do empreendimento, a sua área de influência, as consequências dos impactos e danos ambientais causados pela sua operação e as ações para a recuperação das áreas degradadas pelas erosões. Os parâmetros de desempenho ambiental foram definidos para a comparação entre o estado atual da rodovia e as melhorias que podem vir a ser implementadas. Também são propostos indicadores de desempenho ambiental e, em conjunto, um método de mensuração para os processos erosivos. A mensuração visa a quantificação, deixando de ser utilizada a análise apenas qualitativa, conforme a proposta de Romanini (s/data).

Por último, na Quinta etapa - Conclusão foi finalizada a pesquisa por meio da integração dos dados das cartas de suscetibilidade e do desenvolvimento dos instrumentos de gestão ambiental, visando a sua aplicação.

3 – RESULTADOS

Os resultados estão organizados em três itens principais: a) análise da Gestão Ambiental dos órgãos rodoviários; b) análise da utilização das cartas de suscetibilidade à erosão e c) integração dos dois temas por meio do desenvolvimento dos instrumentos de Gestão Ambiental.

3.1 – Resultados da análise da gestão ambiental em órgãos rodoviários

Os resultados são apresentados por meio da análise dos questionamentos realizados com os órgãos rodoviários e com os técnicos de empresas de consultoria.

3.1.1 – Entrevistas semi-estruturadas com os gestores ambientais dos órgãos rodoviários

As entrevistas semi-estruturadas foram realizadas em dez organizações distintas, sendo nove estaduais e uma federal, todas responsáveis pelo gerenciamento de rodovias. Essas organizações possuem diferentes características sociais. Quatro delas são autarquias dos governos estaduais. Destas, duas são organizadas como departamentos, sendo uma estadual e outra federal. 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, além de duas agências reguladoras.

Com relação ao questionamento sobre a existência de um Sistema de Gestão Ambiental – SGA, 30% responderam que não existe SGA, porém consideram que está em implantação, e 70% responderam que existe SGA. No entanto, durante o transcorrer das entrevistas verificou-se que em apenas um órgão está sendo implantado o SGA, com base na norma ISO 14 000. Também, para 70% o SGA serve apenas para atender às exigências da legislação. Apenas 10% dos órgãos consideram que o SGA está implantado em todas as fases dos empreendimentos rodoviários, enquanto 70% consideram que o SGA está implantado apenas nas fases preliminares (projeto e obra).

Para 50% dos órgãos, nenhuma ação preventiva está prevista no SGA (Figura 3) e para 40% algum tipo de ação preventiva é desencadeada pelo SGA. Todos consideram que a vistoria técnica é fundamental para a coleta de dados. Para o armazenamento dos dados, 40% utilizam fichas de vistoria (protocolos). Apenas 20% dos órgãos possuem um banco de dados sobre os passivos ambientais (Figura 4). Não existem instrumentos de gestão que obriguem o órgão a monitorar e a recuperar estas áreas de forma planejada e contínua, com o objetivo de eliminá-las.



Fig. 3 – Respostas sobre as ações preventivas do Sistema de Gestão Ambiental.

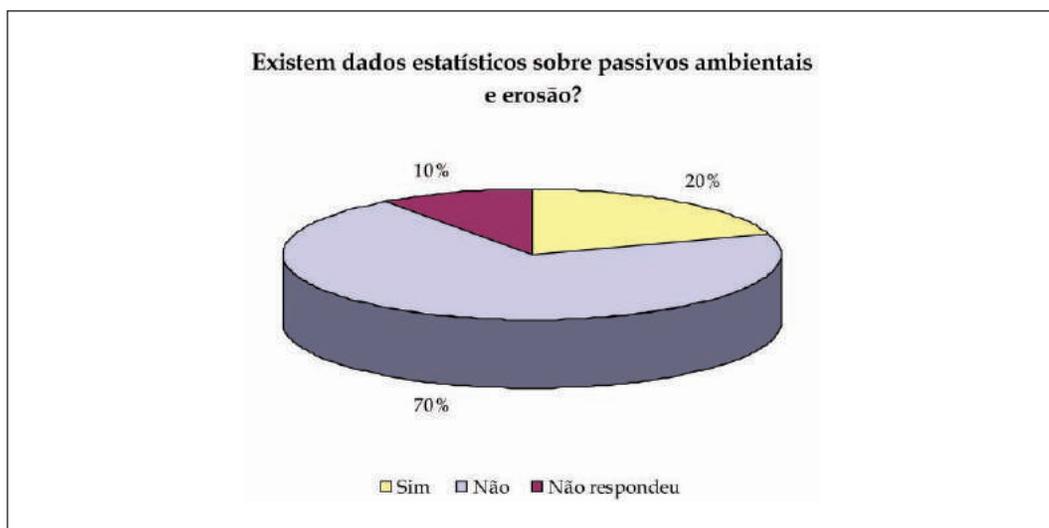


Fig. 4 – Respostas sobre a existência de banco de dados sobre passivos ambientais.

3.1.2 – *Questionários para técnicos especialistas em meio ambiente rodoviário*

O questionário elaborado foi 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. O questionário foi encaminhado via correio eletrônico para 16 técnicos de empresas de consultoria. Destes, foram obtidas 14 respostas (87,5%), índice que pode ser considerado muito alto, já que Bernard (1988) relata que, em média, apenas 25% dos questionários encaminhados pelo correio são respondidos.

Em relação à forma de análise da erosão, 65% consideraram que esta pode ser analisada de forma qualitativa e quantitativa, 21% apenas quantitativa e 15% apenas qualitativa. Por aqueles que consideraram 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.

Quanto ao monitoramento de empreendimentos rodoviários, todos os entrevistados consideraram que devem ser realizadas visitas técnicas para o monitoramento ambiental de rodovias. Também, uma maioria recomendou a utilização de imagens aéreas.

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 maior periodicidade (mensal).

Para a análise da utilização de cartas geotécnicas, foi constatado que esta ferramenta é conhecida por todos os técnicos; no entanto, apenas 15% afirmaram que já a utilizaram como base para o monitoramento ambiental de empreendimentos lineares, e outros 36% já a utilizaram para a Avaliação de Impacto Ambiental. Porém, 57% dos participantes na avaliação 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.

3.2 – Resultados da análise das cartas de suscetibilidade à erosão em diferentes escalas

Os resultados obtidos são apresentados por meio da análise de levantamentos básicos disponíveis em escala regional (1: 500 000 e 1: 1 000 000) e do produto final da elaboração das cartas de suscetibilidade à erosão nas escalas 1: 10 000 e 1: 50 000.

3.2.1 – Análise dos dados regionais

Foi realizado um levantamento com base 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 do meio físico. O resultado da interpretação destes mapas gerou um quadro resumo (Quadro 2), onde se verifica a existência de três grandes compartimentos geomorfológicos na área de estudo. Foram utilizados os seguintes mapas: Mapa Geológico do Estado de São Paulo 1: 500 000 (Almeida *et al.*, 1981); Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo 1: 1 000 000 (Ponçano *et al.*, 1981); Mapa Pedológico do Estado de São Paulo 1: 500 000 (Oliveira *et al.*, 1999); e Carta Geotécnica do Estado de São Paulo 1: 500 000 (Nakazawa *et al.*, 1994).

Quadro 2 – Síntese do meio físico da área de estudo.

	GEOMORFOLOGIA	GEOLOGIA	PEDOLOGIA	PROCESSOS DO MEIO FÍSICO
SP 300	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.	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.	Solos pouco desenvolvidos e com espessura reduzida. Neossolos Litólicos e Cambissolos.	Alta suscetibilidade a escorregamentos em solo e rocha.
	No reverso da cuesta, colinas amplas a médias com predomínio de interflúvios superiores a 4 km ² 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.	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. 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).	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 ascentuadas e localizadamente em declividades mais suaves ocorrem solos bem desenvolvidos do tipo Latossolo Vermelho fêrrico. Textura argilosa. São permeáveis devido a presença de macroporos.	Alta a Muito Alta suscetibilidade a erosão por: <ul style="list-style-type: none"> • Sulcos; • Ravinas e • Boçorocas 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.
	Na depressão periférica, colinas médias a amplas com predomínio de interflúvios entre 1 e 4km ² e declividades variando em torno de 10 a 20 %. Amplitude de 20m a 100m. Predomínio de vertentes retilíneas a convexas. Baixa a média densidade de drenagem, vales abertos.	Rochas sedimentares da Formação Botucatu composta por arenitos de granulação fina a média, grãos bem arredondados e bem selecionados. Formação Pirambóia composta por arenitos de granulação fina a média, localmente com arenitos grossos. Depósitos arenosos Teciários-Quaternários nos topos das colinas.	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.	Alta a Muito Alta suscetibilidade a erosão por: <ul style="list-style-type: none"> • Sulcos; • Ravinas e • Boçorocas

3.2.2 – Estudos de semi-detulhe na escala 1: 50 000

Como produtos dos trabalhos para a elaboração da carta de suscetibilidade à erosão foram obtidos: quantificação das feições de erosão; interpretação das unidades do terreno nas imagens aéreas; mapa de declividade; descrição dos perfis de solos das unidades; descrição das unidades do terreno; e elaboração do instrumento de Caracterização de Impacto Ambiental.

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

3.2.2.1 – Unidade I – Várzeas e fundos de vale

As planícies fluviais variam de 20 a 700 m de largura, com declividade entre 0 e 3%, formadas por sedimentos quaternários e depósitos mais recentes. Os fundos de vale mais restritos possuem larguras menores, porém a sua formação geológica é mais diversificada. Possuem solo aluvial e terraços fluviais que definem solos do tipo Gleissolos de cor cinza com intercalação de camadas orgânicas (Figura 5). 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. Dada a baixa declividade, também são áreas sujeitas a assoreamento proveniente de processos erosivos nas vertentes da bacia hidrográfica.

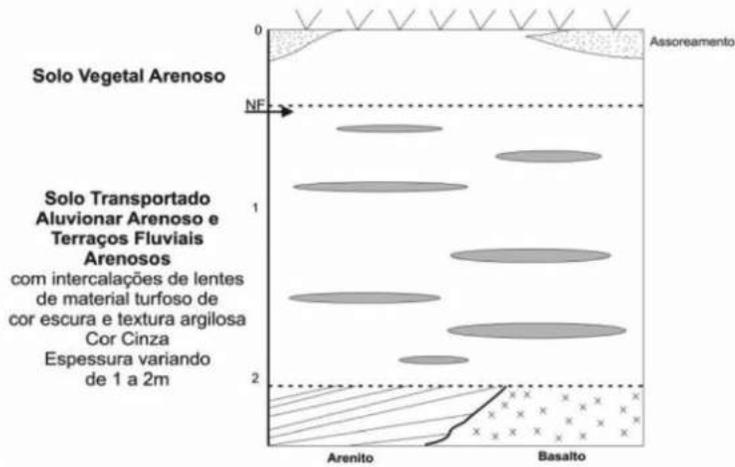


Fig. 5 – Perfil de alteração típico da Unidade I – Várzeas e fundos de vale.

3.2.2.2 – Unidade II – 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 250 m e declividades superiores a 20%. Ocorrem basaltos com pequenas intercalações de arenitos da Formação Botucatu (*inter trap*). Os solos são geralmente coluviais, rasos (< 1 m) do tipo Neossolo Litólico ou Cambissolo e, localmente, podem ocorrer depósitos de tálus (Figura 6). A erosão ocorre na forma de sulcos e ravinas nas encostas, porém predominam os processos de escorregamento. Nestes locais a gênese dos processos de erosão e escorregamentos estão, por vezes, associadas. 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.

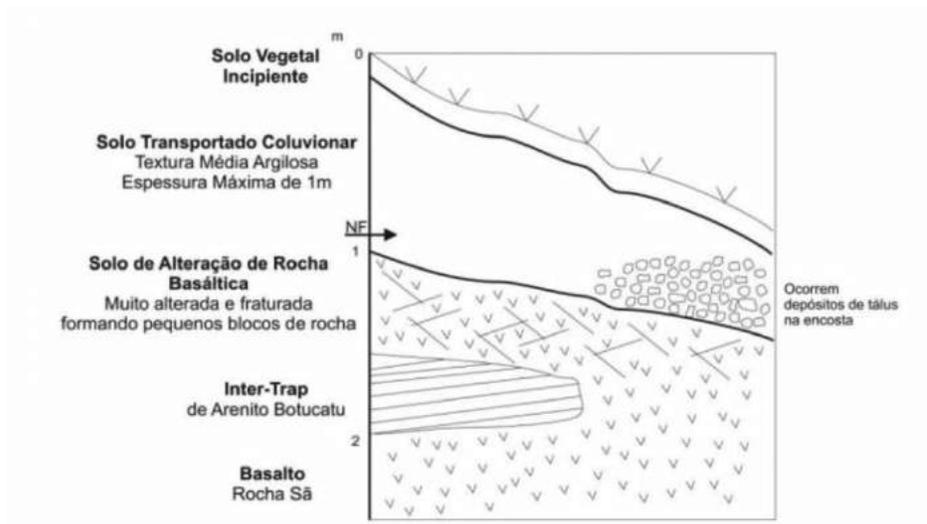


Fig. 6 – Perfil de alteração típico da Unidade II – Cuesta da Serra de Botucatu.

3.2.2.3 – 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 40 m a 150 m. Os solos são predominantemente rasos (< 1 m), Neossolos Litólicos, com ocorrência de Argissolos Vermelho-Amarelos de textura arenosa em porções mais suaves e paredes rochosas (Figura 7). 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 escorregamentos.

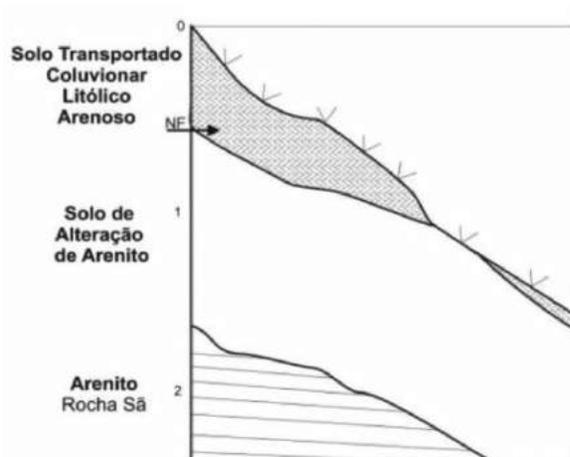


Fig. 7 – Perfil de alteração típico da Unidade III – Vertentes íngremes dos arenitos.

3.2.2.4 – Unidade IV – Topos de colinas nos arenitos

Formam esta unidade os arenitos das Formações Pirambóia, Botucatu e de Formações Terciárias na Depressão Periférica, Arenitos da Formação Marília e também de Formações Terciárias no reverso da cuesta, em topos de colinas com declividade predominante entre 0 e 10%. Ocorrem Latossolos Vermelho-Amarelo arenosos e, ocasionalmente, Neossolos Quartzarênicos. Correspondem a solos lateríticos e também de origem coluvionar com espessura variando de 2 a 15 m (Figura 8). São extremamente suscetíveis à erosão, principalmente nas cabeceiras de drenagem, onde localmente podem ocorrer solos Gleissolos. 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.

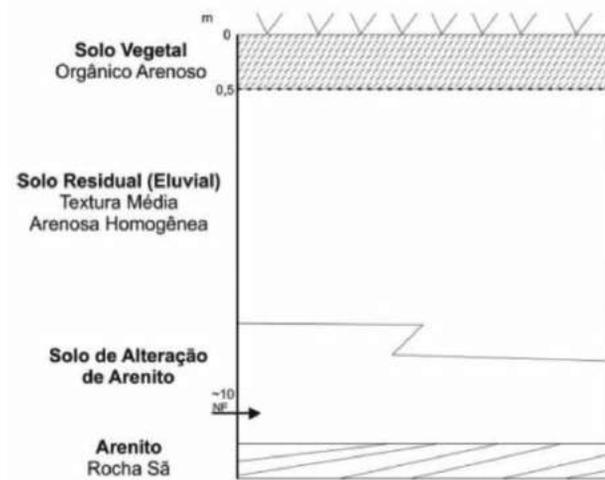


Fig. 8 – Perfil de alteração típico da Unidade IV – Topos de colinas nos arenitos.

3.2.2.5 – Unidade V – Arenitos no reverso da cuesta

Formam esta unidade os arenitos da Formação Marília e de Formações Terciárias em topos de morro com declividade predominante entre 0 e 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 Vermelhos e Argissolos Vermelho-Amarelo (Figura 9). A espessura desses solos varia de 2 a 8 m, aproximadamente, sendo mais espessos nos topos das colinas e menos espessos nas suas vertentes devido à diferença de declividade. A suscetibilidade à erosão varia de baixa a média, porém quando o processo erosivo ocorre, pode atingir grandes proporções devido à textura do solo e à sua grande espessura, que varia de 2 a 8 m e ao nível freático que em alguns locais é bastante raso, cerca de 2 m de profundidade.

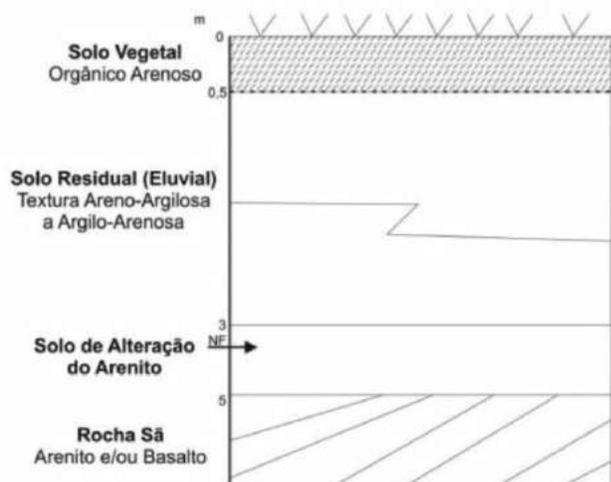


Fig. 9 – Perfil de alteração típico da Unidade V – Arenitos no reverso da cuesta.

Ao todo, foram interpretadas 48 feições de erosão nos 70,4 km² da área de estudo, o que resulta numa concentração de 0,6 feição de erosão por quilômetro quadrado. Destas, 27 feições estão relacionadas à rodovia, ou seja, 56% (Quadro 3).

Quadro 3 – Resultados da interpretação das feições de erosão na área de estudo.

Unidades Suscetibilidade \ Dados	Área das unidades em km ²	Números de feições de erosão fotointerpretadas por unidade	Índice de concentração de erosões por km ² 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	8,83	1	0,11	3,28	1	0,31
Unidade II – Cuesta da Serra de Botucatu	5,45	9	1,65	4,29	4	0,93
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

3.2.3 – Resultados da elaboração dos instrumentos de gestão ambiental para a escala de semi-detalhe

Nesta etapa da pesquisa foi possível o desenvolvimento da Caracterização de Impacto Ambiental. Trata-se da análise de um empreendimento em operação de âmbito regional, cujos impactos são presentes, a análise refere-se a um único impacto (erosão) e foi elaborada por um único técnico de uma área específica do conhecimento. Para cada uma das unidades dos terrenos foram analisados esses aspectos conforme apresentado na síntese do Quadro 4. A descrição da Caracterização de Impacto Ambiental - CIA é apresentada a seguir.

Quadro 4 – Síntese da Caracterização de Impacto Ambiental – CIA para a escala de semi-detalhe.

Unidade	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 a irreversível	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	Alta	Longo	Regional	Irreversível	Alta
IV	Erosão por sulcos, ravinas e boçorocas	Alta	Longo	Regional	Parcialmente reversível a irreversível	Alta
V	Erosão por sulcos, ravinas e boçorocas	Média	Longo	Local	Parcialmente reversível a irreversível	Média

3.2.4 – Estudos geológico-geotécnicos de detalhe

Como produtos dos trabalhos da elaboração da carta de suscetibilidade à erosão na escala 1: 10 000, foram obtidos os mesmos da elaboração dos estudos na escala 1: 50 000. A fotointerpretação foi realizada utilizando-se do mesmo método e dos mesmos materiais disponíveis para os levantamentos realizados anteriormente na escala de semi-detalhe. 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 íngremes das colinas nos domínios dos arenitos. Esta diferenciação em relação à etapa anterior foi possível em razão da escala de apresentação e das investigações anteriormente realizadas.

No Quadro 5 é apresentada a relação entre a carta na escala 1: 10 000 e a concentração das feições erosivas. Os maiores índices de concentração de erosão estão relacionados às Unidades II e III, escarpas da Serra de Botucatu e escarpas internas nos arenitos. 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.

Quadro 5 – Análise das feições de erosão pelas unidades da carta de detalhe.

Dados Unidades Suscetibilidade	Área das unidades em km²	Números de feições de erosão fotointerpretadas por unidade	Índice de concentração de erosões por km² 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 II – 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

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.

Os intervalos de declividade utilizados foram redefinidos por se tratar 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%.

Em relação ao levantamento realizado na escala 1: 50 000, foi definida 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 pela 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.

São áreas onde os solos são geralmente transportados coluvionares, porém podem ocorrer solos residuais, com predomínio de Argissolos Vermelho-Amarelos, areno-argilosos, com espessura que variam de 1 a 4 m (Figura 10).

São áreas onde ocorre uma intensa erosão laminar que evolui formando sulcos, porém os processos lineares predominantes são de grande porte, como, ravinas e boçorocas.

A seguir é apresentado um novo quadro de caracterização do impacto ambiental (Quadro 6), com todas as unidades presentes na carta na escala 1: 10 000. Houve mudanças na análise da unidade III, em razão do distanciamento desta unidade em relação à rodovia em razão da definição da nova unidade VI -Vertentes em arenitos.

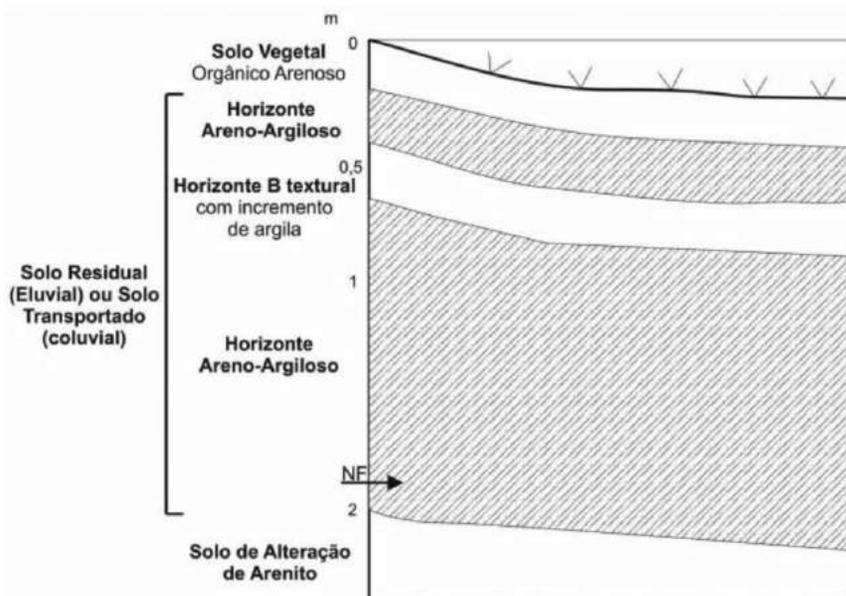


Fig. 10 – Perfil de alteração típico da Unidade VI – Vertentes em arenitos.

Quadro 6 – Síntese da Caracterização de Impacto Ambiental – CIA para a escala de detalhe.

Unidade	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 a irreversível	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 a irreversível	Alta
V	Erosão por sulcos, ravinas e boçorocas	Média	Longo	Local	Parcialmente reversível a irreversível	Média
VI	Erosão por sulcos ravinas e boçorocas	Alta	Longo	Regional	Parcialmente reversível a irreversível	Alta

3.3 – Instrumentos de gestão ambiental desenvolvidos com base nos levantamentos específicos

Com base nos levantamentos específicos puderam ser desenvolvidos os instrumentos de: Auditoria Ambiental; Recuperação de Áreas Degradadas; e Monitoramento Ambiental.

3.3.1 – Auditoria ambiental

Foram cadastrados cinco conjuntos de sistemas de drenagem em aproximadamente cinco quilômetros de rodovia (Quadro 7). Para estas áreas foi feito um ensaio sobre os equipamentos de infra-estrutura de drenagem necessários para a estabilização e prevenção da erosão, com uma estimativa de custos de implantação. Os locais considerados mais críticos foram: o 1º entre o km 233 e 234 (erosão nos arenitos), o 3º no km 235 (erosão nos arenitos) e o 5º entre o km 236 e 238 (escorregamentos na serra).

3.3.2 – Recuperação de áreas degradadas

Foram registrados 24 passivos ambientais relacionados com a erosão, distribuídos em 33 km de rodovia, o que indica uma concentração de 0,72 passivo por quilômetro. O índice é muito alto se comparado ao índice de 1 passivo a cada 10 quilômetros de rodovia apresentado em DER (2006b).

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. A estimativa de custos foi realizada apenas com base em observações do local e não sobre um projeto executivo e, desta forma, assume caráter apenas ilustrativo para se ter uma noção da ordem de grandeza dos recursos financeiros necessários.

Os cálculos do índice de Relevância do Passivo Ambiental – RPA indicam que existem 11 áreas a serem monitoradas rotineiramente, pois oferecem risco médio a alto (Quadro 8). Todos os passivos possuem o agravante de estarem em solo arenoso, localizados a montante de captação de água e poucos possuem atenuante.

Podemos considerar como os passivos ambientais que necessitam de ações imediatas (no prazo de um ano), aqueles cujos valores do RPA são superiores a 6. Os passivos que se enquadram neste critério são 3, 7, 13 e 25.

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 2, 4, 6, 10, 12, 19, 20, 31 e 33. Estas áreas devem prever a intervenção para estabilização dos processos erosivos e recuperação da área degradada em prazo 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 8, 11, 30, 32 e 34. 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.

Quadro 7 – Resultado da auditoria ambiental e estimativa dos recursos financeiros para recuperação do sistema de drenagem.

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
					5000 m ³ mov terra	35,00	175 000,00
					5000 m ² proteção grama	5,00	25 000,00
					20 caixas de retenção de sedimentos	750,00	15 000,00
Total							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	1200,00
					200 m ³ mov. terra	35 000	7000,00
Total							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	1200,00
					02 escadas hidráulicas	5.000,00	10 000,00
					5000 m ³ mov. terra	35,00	175 000,00
					5000 m ² proteção-grama	5,00	25 000,00
Total							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 ³ mov. terra	35,00	3500,00
Total							R\$16 600,00
5	236+000	238+000	Inexistente	Risco alto de erosão e risco alto de acidentes	1000 m de canaleta	105,00	105 000,00
					06 dissipadores	1 200,00	7200,00
					1000 m ³ mov. terra	35,00	35 000,00
					1000 m ² de proteção grama	5,00	5000,00
Total							R\$152 200,00
Total Geral							R\$738 200,00

Quadro 8 – Análise financeira dos passivos ambientais cadastrados na área de estudo.

Nº 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 sobre 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	51 500,00
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	5000,00
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	1000,00
31	228+300	Usuários e lindeiros	Não	4,9	1300,00
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	1000,00
Total					R\$1 051 850,00
* Custos contabilizados anteriormente para a recuperação do sistema de drenagem. Não estão considerados no cálculo do montante total para a recuperação dos passivos ambientais.					

3.3.3 – Monitoramento ambiental

Com base nos resultados das entrevistas e questionários sugere-se que o método para a realização dos trabalhos deva ser pautado nas vistorias técnicas de campo (inspeções) e também na análise de imagens aéreas do trecho a ser vistoriado. Tais observações devem ser formalmente registradas e arquivadas em um banco de dados.

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.

Para as áreas com maior potencial de acidentes e impactos ambientais, as inspeções de rotina antes da adequação da infra-estrutura rodoviária 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 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. Esta mesma periodicidade deve ser adotada após a adequação da infra-estrutura rodoviária.

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 dos usuários e do 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.

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 consideradas de alta a muito alta suscetibilidade à erosão.

Os treze passivos ambientais considerados neste quesito são: 2, 3, 4, 6, 7, 10, 12, 19, 20, 25, 31 e 33. Os trechos de drenagem considerados neste quesito são: 1, 3 e 5.

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.

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 se utiliza imagens aéreas.

A análise de desempenho ambiental do trecho da rodovia 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, considera-se que não devem se formar novos processos erosivos de grande porte (ravinas e boçorocas). Esta premissa pode ser considerada, pois após os estudos realizados, é possível por meio do monitoramento a indicação e a adoção de medidas preventivas antes que se formem novos processos de erosão.

Como ponto de partida, este parâmetro é considerado com peso 20, porém se ocorrer um processo erosivo de grande porte, os 20 pontos são retirados.

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 pontos;
- b) Não formação de novos processos erosivos de pequeno porte, peso de 10 pontos;
- c) Manutenção dos sistemas de drenagem e da proteção superficial vegetal, peso de 5 pontos;
- d) Atendimento às solicitações de intervenção resultantes do monitoramento, peso de 10 pontos;
- e) Atendimento aos casos de imprevistos e de geração de impactos ambientais (plano de emergências), peso de 5 pontos.

Para a fase após a implantação das melhorias, apenas foi subtraída a análise sobre o plano de recuperação de passivos ambientais e do sistema de drenagem.

4 – CONCLUSÃO

Os resultados da pesquisa demonstraram que é possível o desenvolvimento de instrumentos de gestão ambiental a partir da análise e elaboração de cartas de suscetibilidade à erosão em diferentes escalas. O estudo do meio físico direcionado ao entendimento dos processos, realizado por meio do detalhamento progressivo para a elaboração das cartas em diferentes escalas, em conjunto com a realização dos levantamentos específicos, gerou uma série de dados que subsidiaram o desenvolvimento dos instrumentos de gestão ambiental.

A adoção do método do detalhamento progressivo para a elaboração das cartas possibilitou que os resultados fossem obtidos desde os levantamentos iniciais da pesquisa, como por exemplo, o desenvolvimento do instrumento de Avaliação de Impacto Ambiental – AIA com base nos dados regionais.

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 propostos. No entanto, os resultados obtidos quando da análise e elaboração das cartas, não foram suficientes para subsidiar a elaboração dos instrumentos de gestão ambiental, sendo necessária a complementação dos estudos por meio dos levantamentos específicos, como sejam: interpretação de imagem aérea, levantamento de campo, cadastro dos processos erosivos e levantamento dos sistemas de drenagem.

A interpretação das feições de erosão e do assoreamento existentes utilizando-se de imagens aéreas possibilitou a co-relação destes processos com a infra-estrutura da rodovia e fundamentou a Caracterização do Impacto Ambiental – CIA, que foi complementada com os levantamentos de campo para o cadastro destes processos. A CIA elaborada na escala de semi-detalle, 1: 50 000, foi melhorada em relação à AIA da escala regional por possibilitar a análise da extensão do impacto nos recursos hídricos, bem como a magnitude desse impacto.

A CIA elaborada na escala de detalhe, 1: 10 000, com a re-definição dos limites das unidades homogêneas do terreno utilizando-se da mesma técnica da etapa anterior, apresentou diferenças em relação à escala de semi-detalle. Pode-se considerar que houve uma melhora com relação a precisão na identificação de locais críticos e a magnitude do impacto foi identificada como maior em uma das unidades devido à maior suscetibilidade à erosão. Estes dados foram considerados durante a elaboração do plano de monitoramento ambiental que também foi modificado.

Para a aplicação do método desta pesquisa, no caso de estar disponível uma carta geotécnica em escala adequada (semi-detalle ou detalhe), pode-se complementar os estudos por meio da interpretação de imagens aéreas e campanhas de inspeções de campo para a caracterização da erosão, relacionando-a com as unidades geotécnicas e com a infra-estrutura existente na rodovia, para a elaboração dos instrumentos de gestão ambiental.

Com relação à análise dos SGAs nos órgãos rodoviários, foi verificado que estes, em geral, 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 a de cumprir as leis relacionadas ao licenciamento. Mesmo nesse contexto, alguns órgãos rodoviários entendem e fazem um discurso de que possuem um sistema de gestão ambiental.

Os procedimentos para os estudos aqui realizados podem ser aplicados a outros trechos rodoviários, em diferentes tipos de terrenos, analisando-se outros tipos de processo do meio físico, sendo necessário apenas uma adaptação às condições locais. Também, procedimentos similares podem ser aplicados em outros tipos de empreendimentos de obras lineares, tais como: ferrovias, dutovias, linhas de transmissão, etc.

5 – AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Pesquisa - CNPq pelo apoio por meio da cessão de bolsa de estudo ao autor principal, bem como pela disponibilização da taxa de bancada para apoio ao desenvolvimento da pesquisa.

6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, F.F.M.; Hasui, Y.; Ponçano, W.L.; Dantas, A.S.L.; Carneiro, C.D.R.; Melo, M.S.; Bistrichi, C.A. (1981). *Mapa geológico do Estado de São Paulo*. São Paulo: IPT. Escala 1: 500 000. (IPT. Publicação 1184). 2v. Mapa e 126 p.
- Bitar, O.Y.; Ortega, R.D. (1998). *Gestão Ambiental*. In: Oliveira, A.M.S.; Brito, S.N.A. (Eds.). *Geologia de engenharia*. São Paulo: ABGE, pp. 500-508.
- Bernard, H.R. (1988). *Research Methods in Cultural Anthropology*. Newbury Park, California: Sage Publications.
- Carvalho, P.A.S. (1991). *Taludes de Rodovias – orientação para diagnóstico e soluções de seus problemas*. Coordenador. São Paulo. Publicação IPT/DER-SP.
- Cerri, L.E.S.; Akioosi, A.; Augusto Filho, O.; Zaine, J.E. (1996). *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. Anais. Rio de Janeiro, ABGE. v. 2, pp.537-547.
- Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo – DER/SP (2006a). *Instruções ambientais para empreendimentos rodoviários do DER/SP*. São Paulo DER/SP. www.der.sp.gov.br. Consultado em 15/11/2006. V.1, 2 e 3.
- Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo – DER/SP (2006b). *Relatório interno: Cadastro dos Passivos Ambientais Associados às Rodovias*. São Paulo. Consultado no órgão em 21/09/2006.
- Diniz, N.C. (1998). *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. Volumes: I e II. 297 p.
- Fogliatti, M.C.; Filippo, S.; Goudard, B. (2004). *Avaliação de impactos ambientais: aplicação aos sistemas de transporte*. Rio de Janeiro. Editora Interciência, 249 p., ISBN 85-7193-108-9.
- Fornasari Filho, N.; Braga, T.O.; Galves, M.L.; Bitar, O.Y.; Amarante, A. (1972). *Alterações no meio físico decorrentes de obras de engenharia*. São Paulo, IPT, 165 p.
- Freitas, C.G. (2000). *Cartografia Geotécnica de Planejamento e Gestão Territorial: Proposta Teórica e Metodológica*. Tese de Doutorado. Departamento de Geografia - FFLCH USP. São Paulo, 204 p.
- 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>
- International Association of Engineering Geology and Environment – IAEG (1992). Estatutos.
- Mackay, I. (2001). *Aprendendo a perguntar*. São Paulo, Ed. Nobel, 68 p.

- Marconi, M. de A.; Lakatos, E.M. (1999). *Técnicas de Pesquisa*. São Paulo: Atlas, 4ª ed., 260 p.
- Munn R.E. (1975). *Environmental impact assessment: principles and procedures*. SCOPE report 5. Toronto: John Wiley & Sons.
- Nakazawa, V.A.; Freitas, C.G.L.; Diniz, N.C. (1994). *Carta Geotécnica do Estado de São Paulo: escala 1:500.000*. São Paulo, IPT. In: Publicação IPT 2089. 2v. Mapa e 22 p.
- Oliveira, J.B.; Camargo, M.N.; Rossi, M.; Calderano, B. Filho. (1999). *Mapa Pedológico do Estado de São Paulo*. Campinas. IAC e EMBRAPA. Mapa e 64 p.
- Ponçano, V.L., Carneiro, C.D.R; Almeida, M.A.A.; Bistrichi, C.A. (1981). *Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo: escala 1:1.000.000*. São Paulo, IPT.
- Rampazzo, L. (2002). *Metodologia Científica – para alunos dos cursos de graduação e pós-graduação*. São Paulo, Edições Loyola, 139 p.
- Ridente Júnior, J.L. (2000). *Prevenção e controle 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, 101 p.
- Romanini, P.U. (No prelo). *Avaliação de desempenho ambiental*. In: No prelo. Secretaria dos Transportes do Estado de São Paulo. São Paulo, 16 p.
- Ross, J.L.S. (1995). *Análises e sínteses na abordagem geográfica da pesquisa para o planejamento ambiental*. In: Revista do Departamento de Geografia, 9. São Paulo, FFLCH – USP. ISSN 0102-4582, pp. 65-75.
- Sanchez, L.E. (2006). *Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos*. São Paulo, Oficina de Textos, 495 p.
- Santos, A.R. (1994). *Fundamentos filosóficos e metodológicos da geologia de engenharia*. São Paulo. Comunicação técnica. IPT publicação 2088, 6 p.
- Souza, N.C.D.C. (1992). *Mapeamento Geotécnico Regional da Folha de Aguai com base na compartimentação por formas de relevo e perfis típicos de alteração*. São Carlos: EESC/USP. 2.v. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Vaz, L.F. (1996). *Classificação genética dos solos e dos horizontes de alteração de rocha em regiões tropicais*. Revista Solos e Rochas, v. 2, nº 2, pp. 117-136.
- Vedovello, R. (2000). *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, 153 p.
- Zaine, J.E. (2000). *Mapeamento Geológico-Geotécnico por meio do método do detalhamento progressivo: ensaio de aplicação na área urbana do município de Rio Claro (SP)*. Rio Claro, IGCE UNESP. Tese de Doutorado, 148p.