

## Processos erosivos em rodovias: uma revisão sistemática sobre os métodos de previsão e monitoramento

### Erosive processes in highways: a systematic review of forecasting and monitoring methods

<sup>1</sup>Renan Rodrigues Pires, <sup>2</sup>Gersina Nobre da Rocha Carmo Júnior.

<sup>1</sup>Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Ambiental - Universidade Federal de Mato Grosso, (engcivil.renanrodrigues@gmail.com)

<sup>2</sup>Professora Associada do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Ambiental - Universidade Federal de Mato Grosso, (gersina@hotmail.com)

---

**RESUMO:** Rodovias são grandes causadoras de impactos ambientais devido principalmente pela supressão vegetal e pela movimentação de terra necessárias para sua implantação. Se não forem previstos e evitados, os processos de erosão e movimentos de massa podem vir a causar o colapso da estrutura viária. Para antecipar a ocorrência dos processos erosivos ainda na etapa de projeto, há diversos modelos de predição de risco de erosões, que impedem o surgimento de ravinas e voçorocas em quantidade e volume que coloque em risco o pavimento. Este artigo tem por objetivo identificar os principais métodos de predição dos processos erosivos em uso no Brasil e as variáveis nele consideradas, por meio de revisão sistemática. O levantamento foi realizado dia trinta e um de outubro de 2017, em repositórios nacionais (Periódicos CAPES e bibliotecas digitais da UFMG, UFAM, USP, UnB) e internacionais (ScienceDirect e Scielo). Como houve poucos resultados nas buscas, não foi definida janela temporal. Descreveu-se e comparou-se os métodos de previsão de ocorrências erosivas utilizados pelos autores selecionados, bem como as variáveis utilizadas. Os resultados evidenciaram que há sempre um adequado índice de correlação entre o resultado previsto e as situações *in loco*, embora haja diversidade tanto nos métodos de previsão de susceptibilidade quanto nas variáveis envolvidas em cada metodologia.

**Palavras-chave:** Impacto ambiental. Modelagem para previsão de erodibilidade. Classificação de variáveis em modelagem.

**ABSTRACT:** Highways are major cause of environmental impacts due mainly to the plant suppression and the movement of land necessary for its implantation. If they are not foreseen and avoided, erosion processes and mass movements can lead to collapse of the road structure. In order to anticipate the occurrence of erosive processes still in the design stage, there are several erosion risk prediction models that prevent the development of ravines and voçorocas in quantity and volume that endanger the pavement. This paper aims to identify the main methods of prediction of the erosive processes in use in Brazil and the variables considered in it, through a systematic review. The survey was carried out on October 31, 2017, in national repositories (CAPES Periodicals and digital libraries of UFMG, UFAM, USP, UnB) and international repositories (ScienceDirect and Scielo). Since there were few results in the searches, no time window was defined. The methods of predicting erosive occurrences used by the selected authors and the variables used in these methods were described and compared. The results showed that there is always an adequate correlation between predicted outcome and in situ situations, although there is diversity both in susceptibility prediction methods and in the variables involved in each methodology.

**Keywords:** Environmental impact. Modeling for prediction of erodibility. Classification of variables in modeling.

---

## 1. INTRODUÇÃO

Ações antrópicas são responsáveis por modificações diversas no ambiente natural. Na construção de rodovias, devido a sua grande extensão, tem-se uma alteração permanente dos diversos ambientes na qual perpassa, transformando a sua paisagem e gerando impactos sobre o meio físico, biótico e socioeconômico (RIDENTE JÚNIOR, 2008; OLIVEIRA, 2011). Os processos erosivos, que anteriormente à ação humana, eram oriundos somente de fatores naturais como ventos e chuvas, hoje tem sido um dos grandes danos causados na implantação de rodovias

Impactos como a supressão de vegetação e exposição do solo, interferência nos habitats de animais nativos, modificações de solo, desvios das drenagens naturais e barramentos de rios causam danos ambientais muitas vezes irreversíveis. Com a ocorrência destas degradações, há o aparecimento de movimentos superficiais, os quais pode-se citar os escorregamentos de encostas e taludes, assoreamentos e afundamentos e processos erosivos diversos, sendo estes tidos como mais comuns e numerosos, representando 60% casos.

Quanto aos impactos na sociedade, Oliveira (2011) comenta que processos erosivos podem causar patologias nas redes elétricas, de água e esgoto, interdição e derrubada de imóveis, destruição de estradas, perda de solos férteis utilizados para a agricultura, interferindo assim na população que reside ou trafega próxima ao empreendimento. Molinero (2007) complementa dizendo que a falta de planejamento na ocupação do solo é um dos fatores responsáveis por causar patologias geotécnicas como a erosão, já que os devidos cuidados com o ambiente na construção de vias não são implantados como deveriam.

Dessa forma, este artigo justifica-se, pois, entende-se que mediante o uso de métodos de previsão e monitoramento de processos erosivos em rodovias pode-se criar um planejamento para evitar ou minimizar os impactos causados. Porém, para se desenvolver um método eficiente para ser aplicado em diversos objetos, há de se verificar quais são os métodos existentes, como eles são desenvolvidos, quais variáveis utiliza, bem como as suas restrições e quais produtos cada um entrega ao final de sua aplicação.

Desta forma, este artigo tem por objetivo identificar os principais métodos de predição dos processos erosivos em uso no Brasil e as variáveis nele consideradas por meio de revisão sistemática, como forma de catalogar e comparar as metodologias existentes, visando tanto a aplicação, quanto a melhoria das metodologias existentes.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Revisões sistemáticas da literatura podem consolidar e agregar resultados de estudos diversos por meio da pesquisa, mapeamento, avaliação crítica unificação de dados para gerar novos conhecimentos (MORANDI, CAMARGO, 2015).

Na presente revisão, tem-se como tema os processos erosivos na construção de rodovias e estradas. A questão na qual essa revisão se centraliza é: Quais as principais metodologias e variáveis utilizadas no Brasil para previsão de erosões em rodovias?

As bases de buscas utilizadas foram os portais: ScienceDirect; Scielo; Periódicos CAPES, Periódico GEONORTE as bibliotecas digitais da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Universidade de São Paulo (USP), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Universidade Federal de Brasília (UnB). As buscas envolveram os descritores “erosão”, “rodovia”, “estrada” e “ambiental” na ordem descrita, nos idiomas português e inglês.

Iniciou-se o procedimento de busca com o descritor “erosão”, posteriormente foi incluído o descritor “erosão rodovia” OR “erosão estrada”. A partir desta busca, em diversos repositórios, observou-se que o número de trabalhos possibilitava a filtragem pelo título do artigo, pois o número de resultados apresentava-se baixo. Em repositórios com maior número de trabalhos, houve a necessidade de inclusão do descritor “ambiental”.

A análise dos títulos foi realizada como diretriz para classifica resultados que indicassem como objetos de pesquisa “rodovias” ou “estradas”, e que a problemática a ser solucionada fosse devido a erosões e/ou voçorocas. Não houve restrição quanto à janela temporal, visto que os resultados obtidos já se apresentaram suficientemente recentes.

Após a conclusão das buscas, os materiais foram selecionados para dar continuidade ao processo de análise sistemática utilizando o método de Morandi *et al.* (2015), o qual classifica em pré e pós-avaliação. A pré-avaliação é dividida em três dimensões, sendo a

primeira a qualidade da execução, examinando se os dados estão baseados em fatos ou conceitos consistentes, a segunda e a terceira é a questão e o foco da revisão, analisando se o assunto da pesquisa analisada tem relação com o que se está investigando. O material selecionado foi classificado como baixo, médio ou alto, nas três dimensões. Seguindo para pós-avaliação, onde as dimensões devem ser sintetizadas, ponderando-se o resultado dos critérios anteriores. Os trabalhos analisados por esta pesquisa foram aqueles classificados como dimensão alta na pós-avaliação. Quanto ao critério de seleção, buscou-se manter materiais que utilizassem metodologias de previsão de ocorrência de erosão através da utilização de variáveis quantitativas ou qualitativas.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram pré-selecionados 14 trabalhos na pré-análise e, após a aplicação dos critérios de pós-avaliação e na leitura dos resumos, cinco foram classificados como de alta relevância, cinco foram classificados como de média relevância e quatro foram classificados como de baixa relevância. Desses, dois são teses de doutoramento e três são dissertações de mestrado, como pode ser observado na Tabela 1.

Os presentes trabalhos exploram a vertente de modelos de previsão de ocorrências de erosões através de análise de dados, por meio de modelos matemáticos que correlacionam às diversas variáveis ou através do cruzamento de mapas em SIG multitemáticos com a situação *in loco*. Foi verificado com este levantamento que já existem metodologias consolidadas para previsão e monitoramento de processos erosivos, porém dependendo da pesquisa, pode ocorrer o desenvolvimento de um novo modelo mais adequado ao objeto analisado, como por exemplo, como aquele apresentado por Molinero (2007), que desenvolveu seu próprio modelo matemático para previsão de áreas mais suscetíveis a processos erosivos.

Tabela 1 - Análise dos artigos selecionados

Item	Autor	Ano	Título	Relevância			
				Qualidade da execução	Adequação a questão da revisão	Adequação ao foco da revisão	Pós avaliação
1	Enriquez <i>et al.</i>	2015	Erodibilidade e tensão crítica de cisalhamento no canal de drenagem de estrada rural não pavimentada	Media	Baixa	Baixa	Baixa
2	Fernandes	2008	<b>Carta geotécnica de suscetibilidade aos processos da dinâmica superficial do trecho km 215 ao 249 da rodovia Marechal Rondon - SP-300</b>	<b>Alta</b>	<b>Alta</b>	<b>Alta</b>	<b>Alta</b>
3	Ridente Júnior.	2008	<b>Análise da utilização de cartas geotécnicas em diferentes escalas para a gestão ambiental de rodovia em operação</b>	<b>Alta</b>	<b>Alta</b>	<b>Alta</b>	<b>Alta</b>
4	Pittelkow <i>et al.</i>	2014	Feições erosivas em estrada de terra no campo de instrução de Santa Maria (cism) /RS.	Baixa	Média	Média	Baixa

*continua*

Tabela 1 - Análise dos artigos selecionados

continuação

Item	Autor	Ano	Título	Relevância			
				Qualidade da execução	Adequação a questão da revisão	Adequação ao foco da revisão	Pós avaliação
5	Silva; Guerra	2015	Avaliação da suscetibilidade à erosão ao longo da RJ-165 (estrada Paraty-Cunha) através da análise das propriedades físico-químicas dos solos	Médio	Médio	Baixa	Média
6	Machado <i>et al.</i>	2003	Comparação de taxas de erosão em estradas florestais estimadas pelo modelo WEPP (water erosion prediction project) modificado em relação a medições experimentais	Alta	Baixa	Baixa	Médio
7	Griebeler <i>et al.</i>	2005	Equipamento para determinação da erodibilidade e tensão crítica de cisalhamento do solo em canais de estradas	Média	Baixa	Baixa	Baixa
8	Dong; zhang; guo.	2011	Runoff and soil erosion from highway construction spoil deposits: a rainfall simulation study erosion: a case study of Changting in Fujian province, china	Alta	Baixo	Baixo	Baixo
9	Dong; zhang; guo.	2011	Runoff and soil erosion from highway construction spoil deposits: a rainfall simulation study	Média	Média	Média	Média
10	Molinero.	2007	<b>Modelagem de previsão de evolução de processos erosivos</b>	<b>Alta</b>	<b>Alta</b>	<b>Alto</b>	<b>Alto</b>
11	Oliveira.	2011	<b>Mapeamento, identificação e análise dos fatores relacionados aos processos erosivos no Distrito Federal (DF) - ênfase nas voçorocas.</b>	<b>Alta</b>	<b>Alta</b>	<b>Alta</b>	<b>Alto</b>
12	Carvalho.	2017	<b>Ocorrência de voçorocas (gullies) na rodovia BR 174, trecho Manaus-Presidente Figueiredo (AM): gênese, morfologia e previsão de riscos.</b>	<b>Alta</b>	<b>Alta</b>	<b>Alta</b>	<b>Alta</b>
13	Dirane; Vieira.	2014	Mapeamento das incisões erosivas do tipo voçoroca na rodovia AM-010 Manaus/Itacoatiara.	Baixa	Média	Média	Média
14	Neto; Silva; Reis.	2014	Movimento de massa e impactos ambientais na rodovia BR-319: entre o distrito do careiro da Várzea e Careiro/AM.	Baixa	Alta	Alta	Média

### 3.1 Molinero (2007)

Molinero (2007) estudando diversos trechos de rodovias no Distrito Federal e de Goiás (Figura 1, 2 e 3), adotou o método de previsão através da modelagem de uma equação de propensão de processos erosivos, com variáveis espaciais (Geologia, Geomorfologia, Vegetação, etc.) e amostrais (Limite de Liquidez, Limite de Plasticidade, etc.) como variáveis independentes e a presença de processos erosivos como variável dependente.

Figura 1 - Área inventariada para o desenvolvimento dos estudos

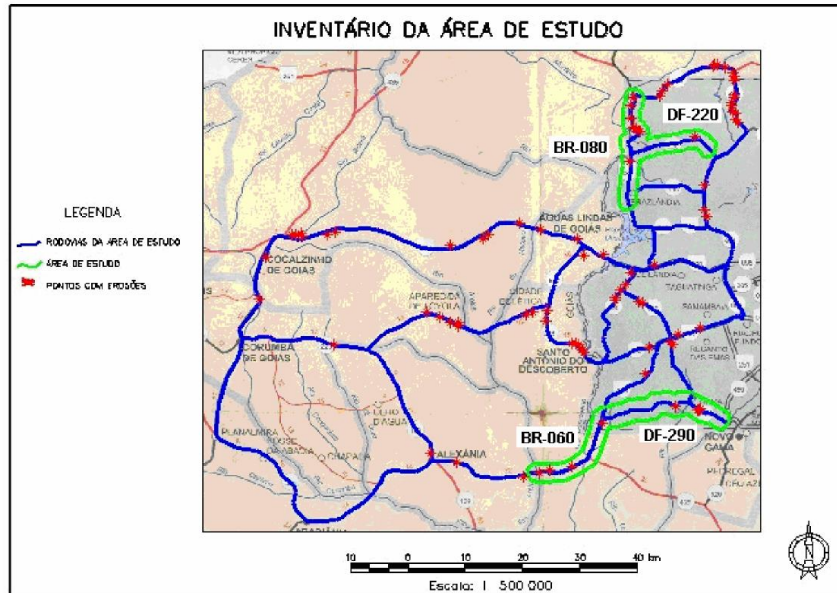


Figura 2 - Detalhe da primeira Subárea de estudos

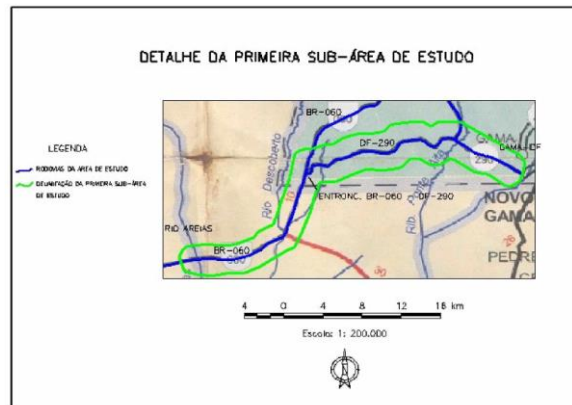


Figura 3 - Detalhe da segunda Subárea de estudos



Fonte: Molinero (2007)

As variáveis amostrais utilizadas na equação foram: Limite de liquidez, Limite de plasticidade, Umidade natural; Umidade higroscópica; Massa específica real dos grãos; PH em água; PH em KCl;  $\Delta$ PH e;  $c'$  da classificação MCT. Já as variáveis espaciais utilizadas no modelo foram: Geomorfologia; Vegetação; Solos; Declividade e Ocupação do solo. Para atribuir valor numérico a variáveis espaciais, o autor desenvolveu índices ponderados para cada classe de cada tema a ser utilizado na projeção. Estes índices consistem na relação entre amostras com processos erosivos existentes em uma classe de um determinado mapa temático pelo número total de amostras analisadas desta mesma classe daquele mapa temático. Por exemplo: caso houvessem quatro observações localizadas na mesma formação geológica do mapa de geologia e três delas apresentassem processos erosivos, o valor atribuído a esta classe de geológica seria de 0,75.

Posteriormente, foi realizada a modelagem da equação através de regressões lineares múltiplas e análise de correlações entre variáveis (ANOVA) e se obteve uma modelagem que atendeu ao critério estatístico estabelecido pelo autor, que foi o coeficiente de determinação ( $r^2$ ) igual a 0,75 ou 75%, cujo resultado pode ser visto na Tabela 2. O valor de F de Fischer, o valor de t de Student e o valor p também demonstraram que a equação obtida era válida para amostra apresentada. As variáveis presentes na equação de modelagem final do modelo foram as seguintes: Umidade higroscópica; Massa específica aparente seca dos grãos; Ponderação do mapa Solo; Ponderação do mapa Geologia e Ponderação do mapa Declividade.

Tabela 2 - Valores de correlações entre as variáveis

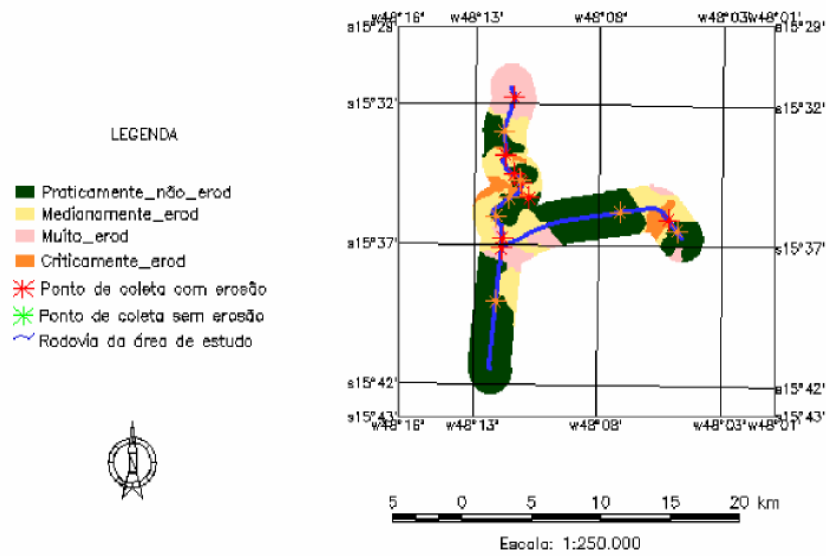
	Erosão	W nat.	W hig.	Wl	Wp	$\rho$	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	Delta pH	MCT- $c'$
Erosão	1,000									
W nat.	0,323	1,00								
W hig.	-0,192	0,513	1,000							
Wl	0,127	0,596	0,607	1,000						
Wp	0,021	0,506	0,462	0,527	1,000					
$\rho$	0,085	-0,056	-0,275	-0,097	0,068	1,000				
pH H <sub>2</sub> O	-0,197	0,134	0,054	-0,021	-0,048	-0,140	1,000			
Ph KCl	-0,277	0,349	0,507	0,452	0,357	-0,022	0,574	1,000		
Delta pH	0,160	-0,301	-0,561	-0,560	-0,471	-0,096	0,186	-0,698	1,000	
MCT- $c'$	0,157	0,562	0,536	0,459	0,477	-0,257	-0,054	0,070	-0,131	1,000

Fonte: Adaptado de Molinero (2007)

Após a obtenção da equação modelada final, iniciou-se a espacialização da mesma para se obter o mapa de Propensão a Processos Erosivos. Para as variáveis espaciais (Geologia, Geomorfologia, etc.) não houve dificuldade de implementação gráfica, pois a área de cobertura de cada um dos coeficientes definidos já se encontrava espacializadas, só se aplicou os coeficientes já ponderados pela área que a classe temática projetada, porém para a espacialização de variáveis amostrais, lançou-se mão de ferramentas da geoestatística, como por exemplo, a Krigagem, para que os valores obtidos pontualmente dos ensaios (Limite de liquidez, Limite de plasticidade, etc.) fossem projetados pela área de estudo de forma estatisticamente válida.

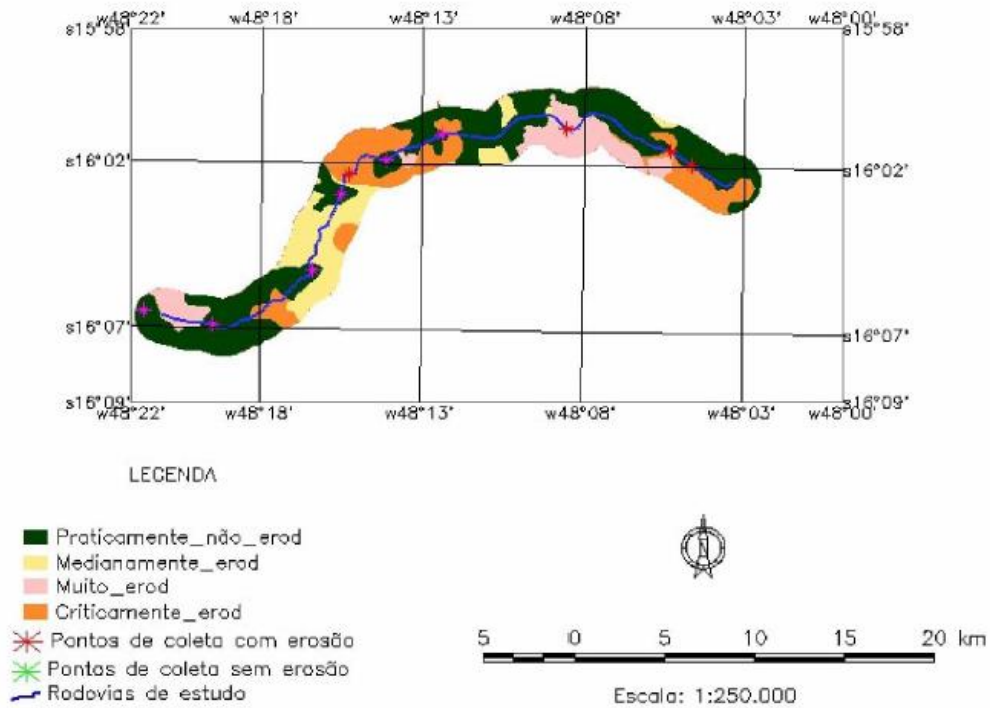
O resultado desta espacialização é um mapa que apresenta a susceptibilidade de processos erosivos nos trechos analisados e em trechos projetados, com a propensão de processos erosivos variando de 0 (baixa probabilidade) a 1 (alta probabilidade), como pode ser visto nas Figura 4 e Figura 5.

Figura 4 - Carta de propensão a processos erosivos BR-080 / DF-220



Fonte: Molinero (2007)

Figura 5 - Carta de propensão a processos erosivos BR-060 / DF-290



Fonte: Molinero (2007)

### 3.2 Fernandes (2008)

Fernandes (2008) analisou o potencial de erodibilidade da rodovia Marechal Rondon, em São Paulo, no trecho compreendido entre o km 215 e o km 249, que pode ser observado na Figura 6, por meio da elaboração da carta Geotécnica de Susceptibilidade segundo a proposta de Vedovello (2000).



Figura 6 - Área de estudo (imagem orbital ETM+, Landsat 7, 03/10/2002, composição colorida 3B 4G 5R)



Fonte: Adaptado de Fernandes (2008)

Para elaboração do estudo foram levantadas informações através da base cartográfica (Modelo Digital do Terreno) e do banco de dados que continham os seguintes mapas temáticos: Hidrografia; Curvas de nível; Pontos cotados; Limite da área de estudo; Delimitação do objeto de estudo (Rodovia Marechal Rondon); Curvas de nível; Pontos cotados e Declividade. A partir destes dados, subdividiu-se a área em análise em Unidades Fisiográficas Homogêneas, como pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3 - Descrição das Unidades Fisiográficas Homogêneas

UNIDADE	DESCRIÇÃO DA UNIDADE
I - Várzeas de fundos de vale.	Várzeas, variando de 20 a 700m de largura, com declividade entre 0-3%, e amplitudes de no máximo 1m, formadas por sedimentos, Quaternários e depósitos de assoreamentos Quaternários. Solo aluvial do tipo Gleissolo de cor cinza com intercalação de camadas orgânicas (turfa), com espessura variável entre 0,5m e 2m. O nível freático encontra-se a uma profundidade média de 0,5m. Baixa capacidade de suporte a cargas. Locais onde podem ocorrer inundações e enchentes localizadas.
II - Cuesta da Serra de Botucatu	A - Escarpa da Serra de Botucatu, com amplitude da ordem de 250m e declividade superior a 10%, porém com predomínio de declividades superiores a 20%. Presença de rochas ígneas basálticas com pequenas intercalações de arenitos da Formação Botucatu. Os solos são geralmente coluvionares, rasos (<1m) do tipo Neossolo Litólico ou Câmbissolo. Ocorrem localizadamente depósitos de tálus. O nível freático encontra-se a uma profundidade média de 0,5m.
	B - No reverso da Cuesta, quando os basaltos aparecem em relevos mais suaves, com declividades acima de 10%, porém com amplitude da ordem de 20m. Aparece o Argissolo Vermelho que é mais espesso (1m a 2m). O nível freático encontra-se a uma profundidade média de 1m. Os locais com declividades mais acentuadas são restritos a alguns trechos de vertentes e a cachoeiras no talvegue das drenagens. Os escorregamentos mais comuns são queda de blocos e de rocha.

*continua*



Tabela 3 - Descrição das Unidades Fisiográficas Homogêneas

continuação

III - Vertentes íngremes dos arenitos	Áreas formadas pelas escarpas internas dos arenitos Pirambóia e Botucatu onde a declividade predominante é acima de 20% e amplitude é de cerca de 60m. Os solos predominantes são rasos (<1m) Neossolos Litólicos com ocorrência de Argissolos Vermelho-Amarelos de textura arenosa e Cambissolos. São áreas extremamente suscetíveis à erosão, principalmente em cabeceiras de drenagem, onde se formam pequenas manchas de Gleissolos. O nível freático encontra-se a uma profundidade média de 0,5m. 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.
IV - Topos de colinas dos arenitos.	Arenitos em topo de colina com declividade predominante entre 0-10%, com amplitude de 30m. Onde existem os arenitos Pirambóia, Botucatu e depósitos Terciários na Depressão periférica e arenitos Marília e depósitos Terciários no reverso da cuesta. Ocorrem Latossolos Vermelho-Amarelo arenosos e ocasionalmente Neossolos Quartzarênicos. Tratam-se de solos Lateríticos ou de origem coluvionar com espessura variando de 2m a 15m. O nível freático encontra-se a uma profundidade média de 10m, geralmente quando aflora o saprolito. São extremamente suscetíveis à erosão, principalmente nas cabeceiras de drenagem, onde localmente podem ocorrer Gleissos. Quando o processo erosivo ocorre pode atingir grandes proporções devido à textura arenosa do solo e a sua grande espessura. 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 e formação de solo do tipo Gleissolo.
V - Arenitos no reverso da cuesta.	Arenitos Marília e Terciários em tipo e vertentes de colinas com declividade predominante entre 0-10%, amplitude de 30m, no reverso da cuesta. Formam-se, predominantemente, Latossolos Vermelho-Amarelo com textura arenosa-argilosa a argilosa-arenosa e ocasionalmente, Latossolo Vermelho e Argissolo Vermelho-Amarelo, sendo que a textura pode variar até argilo-arenosa. A espessura desses solos varia entre 2m e 8m, e sofre grande influência em relação a espessura por conta do contato inferior com o basalto. O nível freático encontra-se a uma profundidade média de 2 a 3m, geralmente no contato com o saprolito ou com o basalto.

Fonte: Adaptado de Fernandes (2008) *apud* Ridente Júnior (2008).

Posteriormente, por meio da análise de imagens digitais da área de estudo (RASTER), foi identificado feições erosivas como sulcos, ravinas e boçorocas, além de evidências de movimentos de massa como escorregamentos, rastejo e queda de blocos rochosos, desenvolvendo o quadro sobre Processos da dinâmica superficial. A Tabela 4 identifica quais são os processos que ocorrem em cada tipo de Unidade Fisiográfica Homogênea analisada.

Tabela 4 - Relação dos processos encontrados em cada Unidade Fisiográfica Homogênea

UNIDADE		Erosão	Solapamento	Rastejo	Queda de Bloco	Escorregamento	Assoreamento	Enchente	TOTAL
I - Várzeas e fundos e vale		04	01	-	-	-	-	01	06
II - Cuesta da Serra de Botucatu	Lla	09	-	02	06	07	-	-	24
	Llb	-	-	-	-	-	-	-	0
III - Vertentes íngremes dos arenitos		33	-	01	01	-	02	-	37
IV - Topos de colinas dos arenitos		17	-	-	-	-	-	-	17
V - Arenitos no reverso da cuesta		-	-	-	-	-	-	-	0
<b>TOTAL</b>		<b>63</b>	<b>01</b>	<b>03</b>	<b>07</b>	<b>07</b>	<b>02</b>	<b>01</b>	<b>84</b>

Fonte: Adaptado de Fernandes (2008)

Para a confecção carta de Suscetibilidade aos Processos da Dinâmica Superficial foi realizado cruzamento das informações do mapa de Declividade, de Uso do Solo e de Unidades Fisiográficas Homogêneas Delimitadas. A partir do cruzamento destes mapas, pode-se localizar em quais pontos há maior susceptibilidade a processos erosivos e, a partir disso, traçar medidas específicas para monitoramento e tratamento da erosão, como pode ser observado na Tabela 5.

Tabela 5 - Suscetibilidade aos principais processos da dinâmica superficial

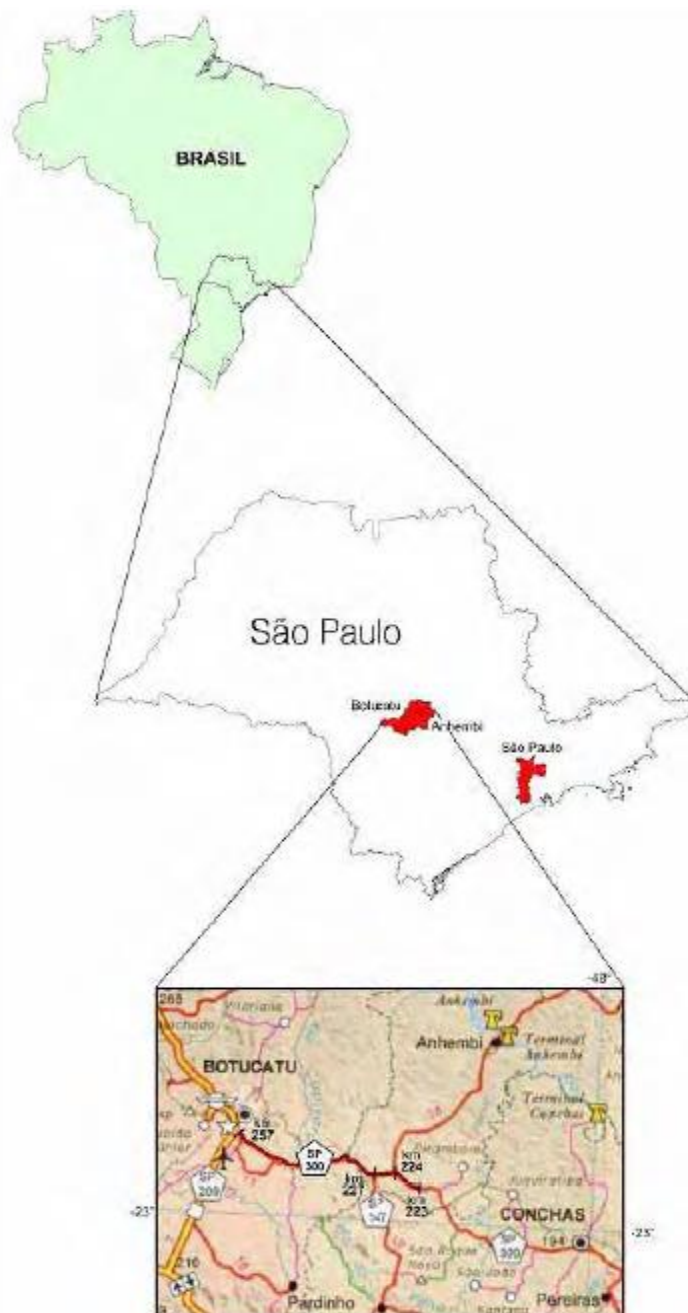
UNIDADE	DECLIVIDADE PREDOMINANTE	PROCESSOS MAPEADOS		SUSCEPTIBILIDADE
		Qte.	TIPO	
I - Várzea e fundos de vale	0-3%	04	Erosão	ALTA
		01	Solapamento	MUITO ALTA
		01	Enchente	MUITO ALTA
		-	Assoreamento	MUITO ALTA
II - Cuesta da Serra de Botucatu	>20%	09	Erosão	ALTA
		07	Escorregamento	MUITO ALTA
		06	Queda	MUITO ALTA
		02	Rastejo	ALTA
	10-20%	-	Escorregamento	ALTA
		-	Erosão	BAIXA
III - Vertentes íngremes dos arenitos	10-20%	33	Erosão	MUITO ALTA
		02	Assoreamento	MÉDIA
		01	Queda	MÉDIA
		01	Rastejo	MÉDIA
		-	Escorregamento	MUITO ALTA
IV - Topos de colinas dos arenitos	0-10%	17	Erosão	MUITO ALTA
V - Arenitos no reverso da cuesta	0-20%	-	Erosão	MÉDIA

Fonte: Adaptado de Fernandes (2008)

### 3.3 Ridente Júnior (2008)

Ridente Júnior (2008) também utilizou o método de cartas Geotécnicas de Suscetibilidade, segundo a proposta de Vedovello (2000) em sua pesquisa para analisar a rodovia Marechal Rondon (Figura 7), através dos meios físicos, dos processos de erosão e das condições da rodovia, porém além de desenvolver a carta em escala regional (1:1.000.000), desenvolveu a carta na escala de semi-detulhe (1:50.000) e de detalhe (1:10.000). Estas progressões nos níveis de detalhe serviram de subsídio para obter os dados necessários para implementar os instrumentos de gestão ambiental e outras aplicações.

Figura 7 - Localização da área de estudo da pesquisa



Fonte: Ridente Júnior (2008)

A carta Geotécnicas de Susceptibilidade obtida pode servir de base para a elaboração de Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) e parte do instrumento do Monitoramento Ambiental, desde que em escala adequada (detalhe ou semi-detilhe) e que permita a correta análise do empreendimento a ser licenciado. Também podem orientar áreas potenciais de jazidas, áreas de depósitos e melhoria na estrutura da via, desde que sejam levantados os dados pontualmente nas áreas de interesse. Para isso, é de suma importância o levantamento do meio físico da rodovia, como foi feito por Ridente Junior (2008) em sua área de estudo, na Tabela 6 abaixo:

Tabela 6 - Características gerais do meio físico do trecho da rodovia

GEOMORFOLOGIA	GEOLOGIA	PEDOLOGIA	PROCESSO DO MEIO FÍSICO
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 arenito da Formação Botucatu	Solos pouco desenvolvidos e com espessura reduzida, Neossolos Litólicos e Cambissolos.	Alta susceptibilidade a escorregamento em solo e rocha.
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.	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 Terciários-Quaternários nos topos das colinas. Rochas ígneas da Formação Serra Geral composta por basaltos toleíticos em forma de derrames sills ou diques nos fundos do 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 Quartzarvidos. Solos de textura média arenosa a extremamente arenosa. São permeáveis, friáveis e pouco coesos. Nos basaltos ocorrem principalmente Cambissolos nas declividades mais acentuadas e localizadas em declividades mais suaves ocorrem solos bem desenvolvidos do tipo Latossolo Vermelho férrico. Textura argilosa. São permeáveis devido à presença de macroporos.	Ata a Muito Alta susceptibilidade a erosão por: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sulcos;</li> <li>• Ravinas e;</li> <li>• Boçorocas.</li> </ul> Média susceptibilidade à ocorrência de colapsos no solo nos locais onde ocorrem basaltos em relevo mais suave. Baixa susceptibilidade a outros processos do meio físico.
Na depressão periférica, colinas médias a amplas com predomínio de interflúvios entre 1 e 4 km <sup>2</sup> 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 Terciários-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.	Ata a Muito Alta susceptibilidade a erosão por: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sulcos;</li> <li>• Ravinas e;</li> <li>• Boçorocas.</li> </ul>

A utilização de cartas geotécnicas de susceptibilidade como subsídio para diversas análises ambientais ou a aplicação em outros tipos de obras lineares abrem um leque de possibilidades dos modelos de previsão de erosão e incentiva à pesquisa dos modelos existentes. Segundo o autor, os índices de concentração de feições de erosão por unidades geotécnicas (Tabela 7) e outros procedimentos adotados podem ser aplicados a outros trechos rodoviários, em diferentes tipos de terrenos, dando subsídio para elaboração de uma síntese da caracterização do Impacto Ambiental, como feito na Tabela 8. Procedimentos similares podem ser aplicados em outros tipos de empreendimentos de obras lineares.

Tabela 7 - 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)

Unidades Geotécnicas	Áreas das unidades geotécnicas em km <sup>2</sup>	Números de feições de erosão fotointerpretadas/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 erosões relacionada à extensão em km de rodovia
Unidade I - Várzea/fundo 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 dos 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 IV - Vertentes em arenitos	1,78	2	1,12	1,111	2	1,8

Fonte: Adaptado de Ridente Júnior (2008)

Tabela 8 - Síntese da Caracterização do Impacto Ambiental - CIA com base nos estudos de detalhe

Unidades Geotécnicas	Tipo de impacto ambiental	Magnitude do impacto	Tempo de duração do impacto	Alcance do impacto	Reversibilidade do impacto	Importância do impacto
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

Fonte: Adaptado de Ridente Júnior (2008)

### 3.4 Oliveira (2011)

Oliveira (2011) levantou o tamanho e a forma das ravinas e voçorocas do Distrito Federal e, através do cruzamento deste levantamento com bases de dados georreferenciados, procurou correlacionar as erosões existentes com os fatores causadores dos processos erosivos, produzindo uma matriz de pesos conforme metodologia proposta por Bias (1998) e, posteriormente, um mapa de riscos para toda a região. Para atingir este objetivo, levantou-se as seguintes bases de dados: Limite da área; MDT; Isoietas; Nascentes; Geologia; Geomorfologia; Solos; Vegetação, Uso do solo; Recursos Hídricos e Rodovias. Os pontos e polígonos de contorno de voçorocas e ravinas foram obtidos por meio da interpretação de imagens (RASTER) vetorizadas manualmente. A partir dos dados levantados em MDT, foram produzidos os seguintes mapas temáticos, que deram subsídio para a elaboração da matriz de pesos: Acúmulo de fluxo; Curvatura; Curvatura plana; Curvatura em perfil; Distância euclidiana das nascentes e Distância euclidiana das rodovias. A partir das variáveis selecionadas, foi gerado uma tabela de pesos para cada classe da variável. Estes pesos foram classificados através de um longo histórico da bibliografia em relação à facilidade de desenvolver processos erosivos. Logo, para cada variável, obteve-se uma série de classes com pesos correspondentes, em que classes com valores maiores tem mais probabilidade de desenvolver ravinas e voçorocas. Os valores utilizados nas variáveis de declividade, solo, uso do solo e vegetação, estão localizadas abaixo, como pode ser observado nas Tabela 9, Tabela 10 e Tabela 11.

Tabela 9 - Definição dos pesos das classes de declividade proposta neste trabalho

Declividade (%)	Peso
1 (0 a 2%)	1
2 (2 a 5%)	2
3 (5 a 10%)	3
4 (10 a 20%)	4
5 (maior que 20%)	5

Fonte: Adaptado de Oliveira (2011)

Tabela 10 - Definição dos pesos das classes de solo proposta neste trabalho

Solo	Peso
Cambissolo Haplico	6
Latossolo Vermelho	2
Latossolo Vermelho Amarelo	3
Nitossolo Vermelho	4
Gleissolo Haplico	1
Neossolo Fluvico	4
Neossolo Quartzarenico	5
Espodossolo Ferriluvico	2
Plintossolo Petrico	1
Argissolo Vermelho Eutrofico + Chernossolo Haplico	2
Lagos	0

Fonte: Adaptado de Oliveira (2011)



Tabela 11 - Definição dos pesos das classes do uso do solo e vegetação proposta neste trabalho

Uso e Vegetação	Peso
Agricultura	5
Formação campestre	4
Área degradada	7
Pecuária	5
Formação Campestre degradada	6
Formação Savânica	3
Formação Savânica degradada	6
Formação Florestal	1
Área Urbana e Urbanizada	6
Malha de transporte	6
Mineração	7
Área verde intra urbana	4
Áreas úmidas	2
Reflorestamento	3
Represas, Lagos, Lagoas e Rios	0

Fonte: Adaptado de Oliveira (2011)

Para a elaboração da matriz de pesos, foi realizada a comparação de cada tema com o peso atribuído pela metodologia de Bias (1998). A cada critério foi atribuído um valor por *pixel* dependendo do tema analisado. A partir da espacialização dos valores dos pesos em seus respectivos mapas temáticos zoneados, procedeu-se com a soma dos pesos e sua classificação quanto ao risco de desenvolvimento de processos erosivos (Tabela 12), a partir do resultado da soma, houve a elaboração da matriz de pesos (Tabela 13) e do mapa de susceptibilidade a processos erosivos do Distrito Federal (Figura 8). Este mapa demonstra os locais mais suscetíveis a processos erosivos.

Tabela 12 - Definição das classes de risco de acordo com os pesos

RISCO	INTERVALO
Muito baixo	1 a 4
Baixo	5 a 8
Moderado	9 a 11
Alto	12 a 14
Muito alto	15 a 18

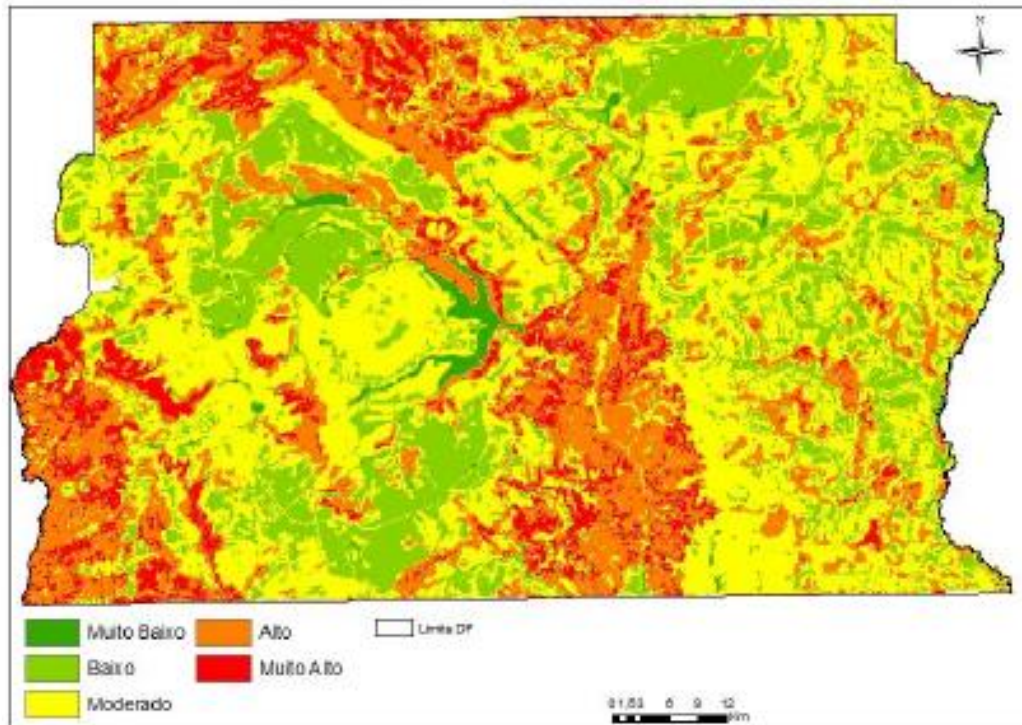
Fonte: Adaptado de Oliveira (2011)

Tabela 13 - Resultado da matriz de pesos

Risco a erosão	Área hectares voçoroca	Quantidade de voçorocas	Área (%) voçorocas	Área hectares DF	Área (%) DF	Nº Polig./Área% DF
1 - muito baixo	0,14	6	0%	14.327,21	2%	242,05
2 - baixo	4,08	126	6%	168.800,21	29%	431,44
3 - médio	17,69	225	27%	228.984,29	40%	567,93
4 - alto	25,10	318	39%	133.576,96	23%	1.375,99
5 - muito alto	17,87	226	28%	32.300,22	6%	4.044,11
TOTAL	64,88	901	100%	577.988,89	100%	

Fonte: Adaptado de Oliveira (2011)

Figura 8 - Mapa de susceptibilidade a processos erosivos

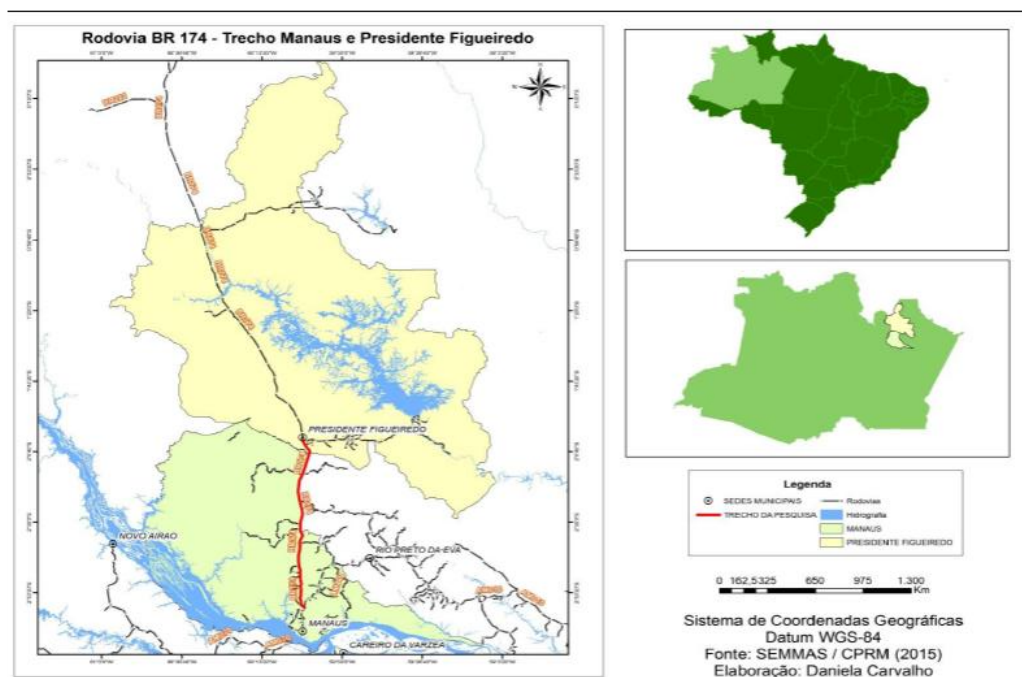


Fonte: Oliveira (2011)

### 3.5 Carvalho (2017)

Carvalho (2017) estudando a ocorrência de voçorocas na BR 174 (Figura 9), classificando as erosões pelo método de Vieira e Albuquerque (2004), que tem como procedimento de classificação das voçorocas a evolução temporal e tendo como finalidade a obtenção da relação das variáveis antrópicas, do solo e naturais no entendimento do surgimento e expansão do processo de voçorocamento.

Figura 9 - Mapa de localização da área de estudo: A rodovia e seu trecho



Fonte: Carvalho (2017)

Para esta análise, foram consideradas como variáveis antrópicas: Características da estrada e Uso e ocupação da terra na margem da rodovia. Em relação às características do solo, foram selecionadas as seguintes variáveis: Granulometria; Classificação; Infiltração; Resistência à penetração; Densidade aparente e Densidade real. E sobre as características naturais, foram analisadas as seguintes variáveis no entorno da região de implantação da rodovia: Geomorfologia; Geologia; MDE; Hidrologia e Pedologia. Embora não espacialize a variável Vegetação, o autor cita que esta é uma variável analisada na previsão e monitoramento de processos erosivos, principalmente em rodovias onde ocorreram supressão de vegetação natural.

O procedimento de previsão de riscos de processos erosivos consiste na medição das dimensões e características das voçorocas existentes em uma data de referência e depois realizar novamente as medições em uma data posterior, calculando índices de evolução das dimensões das voçorocas e classificando-as através da distância com a rodovia, conforme orientação da Tabela 14.

Tabela 14 - Escala de risco erosivo

Nível	Intervalo	Descrição	Meses
01	0 - 3	Risco imediato	0 - 6
02	3 - 6	Risco a curto prazo	6 - 15
03	6 - 15	Risco a médio prazo	15 - 36
04	> 15	Risco a longo prazo	> 36

Fonte: Adaptado de Carvalho (2017)

A partir do mapeamento das voçorocas e da classificação das mesmas a partir da evolução das dimensões, são classificadas feições por prazo de risco de comprometimento do pavimento, sendo esta classificação (Tabela 15) a orientação para a adoção de medidas de manutenção no trecho analisado.

Tabela 15 - Distancia para pista de cada incisão

Voçoroca	Distância para pista (m)					Risco
	01° Cad. 13/03/2016 (m)	02° Cad. 23/08/20 16 (m)	Crescimento no período (m)	Taxa de crescimento ao mês (m)	Tempo (meses) para incisão alcançar a pista	
1	6,9	6,9	0	0	Estagnada	Risco a longo prazo
2	4,6	4,6	0	0	Estagnada	Risco a longo prazo
3	4,6	4,6	0	0	Estagnada	Risco a longo prazo
4	2,3	1,9	0,4	0,08	24,23	Risco a médio prazo
5	4,9	4,2	0,7	0,14	30,60	Risco a médio prazo
6	15,6	12,6	2,9	0,58	21,69	Risco a médio prazo
7	5,8	5,6	0,2	0,04	142,80	Risco a longo prazo
8	19,5	17,0	2,5	0,49	34,68	Risco a médio prazo
9	2,7	2,7	0	0	Estagnada	Risco a longo prazo
10	3,7	2,9	0,8	0,16	18,49	Risco a médio prazo
11	9,1	6,9	2,2	0,43	16	Risco a médio prazo
12	13,2	13,0	0,2	0,04	331,50	Risco a longo prazo
13	1,9	1,8	0,15	0,03	61,20	Risco a longo prazo
14	2,5	2,1	0,4	0,08	26,78	Risco a médio prazo
15	4,8	4,8	0	0	Estagnada	Risco a longo prazo
16	18,3	17,7	0,7	0,13	138,48	Risco a longo prazo
17	76,0	72	4	0,78	91,80	Risco a longo prazo
18	15,8	14,7	1,1	0,22	68,15	Risco a longo prazo
19	19,5	18,5	1	0,20	94,35	Risco a longo prazo
20	330	325	5	0,98	331,5	Risco a longo prazo
21	6,63	5,8	0,83	0,16	35,64	Risco a médio prazo

Fonte: Adaptado de Carvalho (2017)

Todas as metodologias apresentaram bom índice de correlação do efeito da erosão se comparado ao caso real analisado, mas cada estudo tratou de um caso específico, carecendo de aplicações em um universo amostral maior, para verificar a sua aplicabilidade em casos gerais. Este fato somente não ocorreu com exceção de Fernandes (2008) e Ridente Júnior (2008), que trabalharam com o mesmo objeto e metodologia, pois seus estudos foram complementares. Outra verificação é de que, embora apresentem nomenclaturas diversas, as metodologias buscam o mesmo objeto como resultado: uma forma de classificação sobre risco da ocorrência de erosão na área de estudo, seja na forma de modelagem matemática, como realizada Molinero (2007), seja pela sobreposição de diversos mapas temáticos como as apresentadas por Fernandes (2008) e Ridente Júnior (2008) ou ainda pela criação da matriz de pesos, conforme a conduzida por Oliveira (2011). A exceção é Carvalho (2017), que não chegou a construir o mapa temático, porém através da comparação de áreas degradadas e não degradadas, selecionou as variáveis que influenciam na maior probabilidade de ocorrência de processos erosivos. Considerando que o autor utilizou variáveis espacializadas na comparação, a análise de riscos erosivos passa a ser a análise das variáveis que aumentam a probabilidade de formação de ravinas e boçorocas.

Para analisar as diversas variáveis utilizadas nos métodos de previsão selecionados pela metodologia revisão sistemática aplicada neste estudo, elas foram agrupadas em seis grupos principais conforme Tabela 16:

Tabela 16 - Classificação das variáveis utilizadas nas metodologias selecionadas

Variáveis Geotécnicas	<b>Rosa</b>
Variáveis Hidrológicas	<b>Azul</b>
Variáveis Geomorfológicas	<b>Marron</b>
Variáveis Topográficas	<b>Amarelo</b>
Variáveis de Vegetação	<b>Verde</b>
Variáveis Antropológicas	<b>Cinza</b>

As variáveis utilizadas na modelagem final estão em preto, já as eliminadas da metodologia durante o processo de análise desenvolvido por cada autor encontram-se na cor vermelha, como pode ser observado na Tabela 17.

Tabela 17 - Classificação das variáveis utilizadas nas metodologias selecionadas

<b>Fonte Preta</b>	Mantido na modelagem final do modelo
<b>Fonte Vermelha</b>	Removido da modelagem final do modelo

A Tabela 18 resume o resultado da análise das variáveis utilizadas em cada método, com a classificação por tipo de variável e se a mesma foi mantida no resultado final pelo autor ou se foi descartada pelo processo de modelagem.

Tabela 18 - Variáveis utilizadas nas metodologias de susceptibilidade de erosão

<b>MOLINERO (2007)</b>	<b>FERNANDES (2008)</b>	<b>RIDENTE JÚNIOR (2008)</b>	<b>OLIVEIRA (2011)</b>	<b>CARVALHO (2017)</b>
<b>Geologia</b>	<b>Hidrografia</b>	<b>Hidrografia</b>	<b>Limite da área</b>	<b>Características da estrada</b>
<b>Vegetação</b>	<b>Pontos cotados</b>	<b>Pontos cotados</b>	<b>Nascentes euclidianas</b>	<b>Granulometria</b>
<b>Solos</b>	<b>Limite da área de estudo</b>	<b>Limite da área de estudo</b>	<b>Hidrografia euclidiana</b>	<b>Uso e ocupação do solo</b>
<b>Declividade</b>	<b>Curvas de nível</b>	<b>Curvas de nível</b>	<b>Nascentes</b>	<b>Classificação</b>
<b>Ocupação do solo</b>	<b>Declividade</b>	<b>Declividade</b>	<b>Rodovias</b>	<b>Infiltração</b>
<b>Umidade higroscópica</b>	<b>Unidades fisiográficas homogêneas</b>	<b>Unidades fisiográficas homogêneas</b>	<b>Curvatura em perfil</b>	<b>Resistência à penetração</b>
<b>Limite de plasticidade</b>	<b>Caracterização do uso do solo</b>	<b>Caracterização do uso do solo</b>	<b>Rodovias euclidianas</b>	<b>Densidade aparente</b>
<b>Umidade natural</b>			<b>Solos</b>	<b>Densidade real</b>
<b>Limite de liquidez</b>			<b>Uso do solo</b>	<b>Geomorfologia</b>
<b>Massa específica do solo</b>			<b>Hidrografia.</b>	<b>Geologia</b>
<b>PH em água</b>			<b>Acúmulo de fluxo</b>	<b>MDE</b>
<b>PH em KCl</b>			<b>Curvatura</b>	<b>Hidrologia</b>
<b>C' da metodologia M.C.T.</b>			<b>Curvatura plana</b>	<b>Pedologia</b>
<b>ΔPH</b>			<b>Declividade</b>	
			<b>Geologia</b>	
			<b>Orientação</b>	
			<b>MDT</b>	
			<b>Isoietas</b>	
			<b>Geomorfologia</b>	

Autores, como Oliveira (2011), Molinero (2007) e Carvalho (2017), utilizaram variáveis geotécnicas e geomorfológicas em suas análises, porém Fernandes (2008) e Ridente Júnior (2008) não utilizam variáveis geotécnicas e geomorfológicas, ignorando o tipo de solo do local de análise e sua origem geológica, contrariando Carvalho (2017) que concluiu que o tipo de solo influencia fortemente no risco de ocorrência de processos erosivos. Molinero (2007) excluiu diversas variáveis geotécnicas durante o processo de equacionamento, demonstrando que nem todas as características geotécnicas interferem na susceptibilidade a erosão.

Sobre as variáveis hidrológicas, Oliveira (2011), Carvalho (2017), Fernandes (2008) e Ridente Júnior (2008) consideraram suas influências em suas análises e conclusões, porém Molinero (2007) não considerou nenhuma variável hidrológica. Talvez a inclusão desta variável pudesse melhorar os índices de correlação que o autor obteve em seu resultado, tendo em vista que Oliveira (2011) a considerou relevante e não a retirou de sua modelagem final. Tratando-se de análises espacializadas, observou-se que todos os autores utilizam variáveis topográficas, principalmente os dados de declividade ou curvas de nível. Não há como espacializar os dados sem este subsídio, além de servir de base para dados hidrográficos e geomorfológicos.

Embora Oliveira (2011) não utilize nenhum mapa temático sobre a vegetação em suas análises, o autor conclui que esta variável é importante na modelagem final do risco de

processos erosivos, porém Carvalho (2017), Fernandes (2008) e Ridente Júnior (2008) não utilizam nenhuma variável sobre vegetação. Molinero (2007) chega a considerá-la inicialmente, porém a retira da modelagem final, visto que a mesma não influencia de maneira satisfatória a ocorrência ou não de processos erosivos. É uma variável que merece mais investigação, sendo recomendada a realização de pesquisas mais profundadas sobre o tema.

Oliveira (2011), Carvalho (2017), Fernandes (2008) e Ridente Júnior (2008) incluíram variáveis antropológicas em suas modelagens finais. Já Molinero (2007), embora a tenha considerado em sua modelagem inicial, a descartou em seu processo de equacionamento devido à pouca interferência que esta variável causava nas formulações estatísticas. Como a análise de Molinero (2007) é um estudo de caso, recomenda-se a não exclusão desta variável em modelagens futuras.

#### 4. CONCLUSÃO

Observa-se que, para estimativa de previsão e monitoramento de erosão em rodovias, existem vários de modelos, sendo o mais citado a metodologia da carta Geotécnica de Susceptibilidade de Vedovello (2000) e a matriz de pesos de Bias (1998).

Em análise às pesquisas aqui descritas, verifica-se que, independente do modelo de monitoramento e predição de processos erosivos, eles apresentam altos índices de correlação entre a estimativa e o real, porém não se pode considerar todos como adequados, visto que os objetos de análise das pesquisas se diferenciam entre si, além de serem em locais distintos, devendo-se implementar pesquisas para obter modelagens mais generalistas, que possam ser aplicadas ainda na fase de projeto, em diversos locais de implantação de rodovia.

Outra consideração importante é a colaboração que a análise de erodibilidade concede aos outros instrumentos de controle ambiental, conforme Ridente Júnior (2008) concluiu.

Verificou-se que, embora sejam definidos diversos mapas temáticos, é possível agrupá-los e classificá-los para análise. Observa-se também que algumas metodologias não levam em consideração variáveis importantes por outros autores, como o caso da Geotecnia, Hidrologia e Vegetação, devendo esta divergência ser uma área a ser investigada em uma futura modelagem de susceptibilidade a erosão.

#### 5. REFERÊNCIAS

BIAS, E. S. **Técnicas de geoprocessamento: sua aplicação como suporte ao planejamento, análise e implantação de redes elétricas**. 1998. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente). Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP, São Paulo. 1998.

CARDOSO DA SILVA, L. F. T.; GUERRA, A. J. T. **Avaliação da suscetibilidade à erosão ao longo da RJ-165 (Estrada Paraty-Cunha) através da análise das propriedades físico-químicas dos solos**. *Geonorte*, v.6, n.25, p. 1-23, 2015.

CARVALHO, D. P. **Ocorrências de voçorocas (gullies) na Rodovia BR-174, trecho Manaus-Presidente Figueiredo (AM): gênese, morfologia e previsão de riscos**. 2017. 135 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Amazonas, Amazonas. 2017.

DIRANE, A.C.M.; VIEIRA, A.F.S.G. **Mapeamento das incisões erosivas do tipo voçoroca na rodovia AM-010 Manaus/Itacoatiara**. *Geonorte*, Edição Especial 4, v.10, n.1, p. 50-54, 2014.



DRESCH, A.; LACERDA, D. P; JÚNIOR, J. A. V. A. **Design Science Research: Método de Pesquisa para Avanço da Ciência e Tecnologia.** Porto Alegre: Bookman, 2014. 204 f.

ENRIQUEZ, A. G. *et al.* **Erodibilidade e tensão crítica de cisalhamento no canal de drenagem de estrada rural não pavimentada.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande - PB, v.19, n.2, p.160-165, 2015.

FERNANDES, F. M. **Carta geotécnica de suscetibilidade aos processos da dinâmica superficial do trecho km 215 ao 249 da Rodovia Marechal Rondon - SP-300.** 2008. 110 f. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista. Rio Claro. 2008.

FERNANDES, F. M. CERRI, L. E. da S. **Elaboração da carta geotécnica de suscetibilidade de um trecho da rodovia Marechal Rondon - SP-300 (SP, Brasil).** *Geociências*, São Paulo - SP, v.30, n.3, p. 457-465, 2011.

GRIEBELER, N. P. *et al.* **Equipamento para determinação da erodibilidade e tensão crítica de cisalhamento do solo em canais de estradas.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande - PB, v.9, n.2, p.166-170, 2005.

JIANZHI, D.; KELI, Z.; ZHONGLING, G. **Runoff and soil erosion from highway construction spoil deposits: A rainfall simulation study.** *Elsevier*, p. 8-14, 2012.

LIN, C. *et al.* Relationships Between Intensity Gradation and Evolution of Soil Erosion: A Case Study of Changting in Fujian Province, China. ***Pedosphere***, 22(2), p. 243-253, 2012.

MACHADO, C. C. *et al.* Comparação de taxas de erosão em estradas florestais estimadas pelo modelo WEPP (water erosion prediction project) modificado em relação a medições experimentais. ***Árvore***, v.27, n.3, p. 295-300, 2003.

MOLINERO, G. R. **Modelagem de Previsão de Processos Erosivos.** 2007. 162f. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Programa de Pós-Graduação em Geotecnia. Universidade de Brasília. Brasília. 2007.

MORANDI, M. I. W. M.; CAMARGO, L. F. R. Revisão sistemática da literatura. **In: Design science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia.** Porto Alegre: Bookman. p. 141-175. 2015.

OLIVEIRA, B. E. N. **Mapeamento, Identificação e Análise dos Fatores Relacionados aos Processos Erosivos no Distrito Federal (DF) - Ênfase nas Voçorocas.** 2011. 180 f. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal) - Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Florestal. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Universidade de Brasília. 2011.

OLIVEIRA, L. C. *et al.* Perdas de solo, água e nutrientes por erosão hídrica em uma estrada florestal na serra catarinense. ***Ciência Florestal***, v. 25, n. 3, p. 655-665, 2015.

OLIVEIRA NETO, T.; SILVA, V.C.; REIS, R.R. Movimento de massa e impactos ambientais na rodovia BR-319: entre o distrito do Careiro da Várzea e Careiro/AM. ***Geonorte***, v.10, n.1, p. 61-65, 2014.

PITTELKOW, G.C. *et al.* Feições erosivas em estrada de terra no campo de instrução de Santa Maria (CISM) /RS. **Geonorte**, v.10, n.1, p. 386-390, 2014.

RIDENTE JÚNIOR, J. L. **Análise da utilização de cartas geotécnicas em diferentes escalas para a gestão ambiental de rodovia em operação**. 2008. 182f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Universidade Estadual Paulista. Rio Claro. 2008.

VEDOVELLO, R. **Zoneamentos Geotécnicos Aplicados à Gestão Ambiental, a partir de Unidades Básicas de Compartimentação - UBCs**. 2000. Tese (Doutorado). Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 2000.

VIEIRA, A.F.S.G.; ALBUQUERQUE, A.R. da C. Cadastramento de voçorocas e análise de risco erosivo em estradas: BR-174 (Trecho Manaus - Presidente Figueiredo). **In: V Simpósio Nacional de Geomorfologia e I Encontro Sul-Americano de Geomorfologia**. (Anais). Santa Maria: UGB/UFSM. p. 50-65, 2004.