

## LISTA DE ABREVIACÕES E SÍMBOLOS

AID - Áreas de Influência Direta

ADA - Área Diretamente Afetada

BGRM - Bureau de Recherches Géologiques et Minières - Departamento de Pesquisas Geológicas e de Mineração - França

CAD - projeto auxiliado por computador

CENTROVIAS - SISTEMAS RODOVIÁRIOS S/A

CWa- clima subtropical (chuvas no verão)

DDE (Direction Départementale D'Équipement - Direção Departamental de Equipamentos)

ESRI - Environmental Systems Research Institute, Inc

GPS - Sistema de Posicionamento Global

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IG - Instituto Geológico

IGC - Instituto Geográfico e Cartográfico

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas

MDT- Modelo Digital do Terreno

SIG –Sistema de Informação Geográfica

SP-310 - Rodovia Washington Luís

TIN - Triangular Irregular Network

UTM - Projeção Universal Transversal de Mercator

## SUMÁRIO

<u>RESUMO</u> .....	.9
<u>ABSTRACT</u> .....	10
<u>INTRODUÇÃO</u> .....	13
<u>OBJETIVOS</u> .....	14
<u>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</u> .....	14
<u>DEFINIÇÕES DE MOVIMENTOS DE MASSA</u> .....	16
<u>CLASSIFICAÇÕES DOS MOVIMENTOS DE MASSA</u> .....	20
<u>AGENTES E CAUSAS DE MOVIMENTOS DE MASSA</u> .....	26
<u>PROCESSOS EROSIVOS</u> .....	28
<u>PROCESSOS DE INSTABILIZAÇÃO EM TALUDES DE CORTE E ATERRO</u> .....	29
<u>MÉTODOS DE CARACTERIZAÇÃO E GERENCIAMENTO DE INSTABILIZAÇÕES EM TALUDES RODOVIÁRIOS</u> .....	34
<u>CARTOGRAFIA DIGITAL E SIG</u> .....	58
<u>MÉTODO MULTI-CRITÉRIOS</u> .....	68
<u>MÉTODO E MATERIAIS</u> .....	70
<u>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</u> .....	73
<u>DEFINIÇÃO DOS PROCESSOS DE INSTABILIZAÇÃO E ÁREA DE ESTUDO</u> .....	
	74
<u>PRODUÇÃO DA BASE CARTOGRÁFICA DIGITAL</u> .....	74
<u>ELABORAÇÃO DE MODELO DIGITAL DO TERRENO (MDT)</u> .....	75
<u>ELABORAÇÃO DE MAPAS TEMÁTICOS DERIVADOS DO MDT E DO MAPA DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS</u> .....	76
<u>LEVANTAMENTOS SISTEMÁTICOS DE CAMPO</u> .....	77
<u>MAPA DE POTENCIAL DE INSTABILIZAÇÃO</u> .....	77
<u>MAPA DE POTENCIAL DE ACIDENTE</u> .....	79
<u>ANÁLISE DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES</u> .....	80

<u>ÁREA DE ESTUDO.....</u>	<u>81</u>
<u>ASPECTOS DO RELEVO.....</u>	<u>84</u>
<u>FORMAÇÕES GEOLÓGICAS .....</u>	<u>86</u>
<u>MATERIAIS INCONSOLIDADOS .....</u>	<u>88</u>
<u>RECURSOS HÍDRICOS, VEGETAÇÃO E CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS</u>	
<u>92</u>	
<u>RESULTADOS.....</u>	<u>94</u>
<u>BASE CARTOGRÁFICA DIGITAL .....</u>	<u>94</u>
<u>MAPAS TEMÁTICOS.....</u>	<u>97</u>
<u>MAPA HIPSOMÉTRICO.....</u>	<u>97</u>
<u>MAPA DE DECLIVIDADE.....</u>	<u>99</u>
<u>MAPA DE CURVATURA DA ENCOSTA.....</u>	<u>101</u>
<u>MAPA DE DIREÇÃO DAS VERTENTES.....</u>	<u>103</u>
<u>MAPA DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS.....</u>	<u>106</u>
<u>TRABALHOS DE CAMPO.....</u>	<u>109</u>
<u>PERFIS DE ALTERAÇÃO IDENTIFICADOS.....</u>	<u>109</u>
<u>SEÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS.....</u>	<u>113</u>
<u>ASPECTOS ESTRUTURAIS.....</u>	<u>116</u>
<u>PROBLEMAS GEOLÓGICO-GEOTECNICOS ENCONTRADOS NAS SEÇÕES</u>	
<u>LEVANTADAS EM CAMPO:.....</u>	<u>118</u>
<u>MAPA DE POTENCIAL DE INSTABILIZAÇÃO.....</u>	<u>126</u>
<u>MAPA DE POTENCIAL DE ACIDENTE.....</u>	<u>134</u>
<u>CONCLUSÕES.....</u>	<u>140</u>
<u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</u>	<u>142</u>
<u>ANEXO 1 – FICHAS DE CAMPO.....</u>	<u>151</u>
<u>ANEXO 2 – BASE TOPOGRAFICA DIGITAL.....</u>	<u>152</u>
<u>MAPA DE POTENCIAL DE INSTABILIZAÇÃO E ACIDENTE.....</u>	<u>152</u>

## ÍNDICE DE FIGURAS

	pág
<b>FIGURA1: FLUXOGRAMA DEMONSTRANDO AS DIVISÕES DOS MOVIMENTOS DE MASSA (GUIDICINI &amp; NIEBLE, 1976).....</b>	<b>20</b>
<b>FIGURA 2: CARTA DE INVENTÁRIOS DOS FENÔMENOS ESTUDADOS NA REGIÃO (CRUCHET, NEDELLEC 2005).....</b>	<b>56</b>
<b>FIGURA 3: VISADAS AÉREAS DE UMA ÁREA HOMOGÊNEA DA REGIÃO DO CIRQUE SALAZIE (FRANÇA – CRUCHET E NEDELLEC 2005).....</b>	<b>57</b>
<b>FIGURA 4: CARTA DE INVENTÁRIO DE ESTABILIDADE DEMARCANDO ZONAS COM OCORRÊNCIA ESCORREGAMENTO: FORTE (VERMELHO), MÉDIA (LARANJA), FRACA (AMARELO) E FRACA A NULA (BRANCO) FONTE: CRUCHET E NEDELLEC, 2005.....</b>	<b>57</b>
<b>FIGURA 5 : INTERFACE GRÁFICA DE ARQUIVOS EM AUTOCAD MAP R14 (LOPES, AUGUSTO FILHO, 2007).....</b>	<b>59</b>
<b>FIGURA 6 : INTERFACE GRÁFICA DE DOCUMENTOS TIPO VISTA EM ARCVIEW 3.2 A, A PARTIR DAS FOTOGRAFIAS AÉREAS A ESCALA DE 1:5.000 DA CENTROVIAS (2005). (LOPES, AUGUSTO FILHO 2007).....</b>	<b>62</b>
<b>FIGURA 7: EXEMPLO DE GRADE RETANGULAR (NAMIKAWA, 1995).....</b>	<b>66</b>
<b>FIGURA 8: EXEMPLO DE UMA GRADE TRIANGULAR (NAMIKAWA, 1995)</b>	<b>67</b>
<b>FIGURA 9: FLUXOGRAMA RELATIVO À SEQÜÊNCIA DE ETAPAS NECESSÁRIAS À REALIZAÇÃO DO MÉTODO DE OBTENÇÃO DO POTENCIAL DE INSTABILIZAÇÃO E DE ACIDENTE ADOTADO.....</b>	<b>72</b>
<b>FIGURA 10 : FLUXOGRAMA CONTENDO O PROCESSO PARA A REALIZAÇÃO DO MDT EM PROGRAMA ARCVIEW 3.2 A.....</b>	<b>76</b>
<b>FIGURA 11: LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO NO MUNICÍPIO DE CORUMBATAÍ.....</b>	<b>82</b>
<b>FIGURA 12: TRECHO ESTUDADO – KM 187+255 A 198+970.....</b>	<b>83</b>

<b>FIGURA 13: FEIÇÕES DE RELEVO – COLINAS AMPLAS- PTO 11 / SEÇÃO 11</b>	<b>85</b>
<b>FIGURA 14: FEIÇÕES DE RELEVO – CUESTAS BASÁLTICAS.....</b>	<b>86</b>
<b>FIGURA 15: BASE CARTOGRÁFICA DIGITAL.....</b>	<b>94</b>
<b>FIGURA 16: TABELA DE ATRIBUTOS DA BASE CARTOGRÁFICA DIGITAL.....</b>	<b>95</b>
<b>FIGURA 17: DETALHE DA BASE CARTOGRÁFICA COM A TABELA DE ATRIBUTOS DOS PONTOS/ SEÇÕES E A FOTOGRAFIA DO PONTO/ SEÇÃO 1 TIRADA EM CAMPO.....</b>	<b>96</b>
<b>FIGURA 18 : PARTE DO MAPA HIPSOMÉTRICO REALIZADO EM PROGRAMA ARCVIEW 3.2A.....</b>	<b>98</b>
<b>FIGURA 19: PARTE DO MAPA DE DECLIVIDADE REALIZADO EM PROGRAMA ARCVIEW 3.2A.....</b>	<b>100</b>
<b>FIGURA 20: PARTE DO MAPA DE CURVATURA DA ENCOSTA .....</b>	<b>102</b>
<b>FIGURA 21: PARTE DO MAPA DE DIREÇÃO DAS VERTENTES REALIZADO EM PROGRAMA ARCVIEW 3.2A.....</b>	<b>105</b>
<b>FIGURA 22: PARTE DO MAPA DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS ADAPTADO DE NISHIYAMA (1991) E REALIZADO EM PROGRAMA ARCVIEW 3.2 A.....</b>	<b>108</b>
<b>FIGURA 23: SOLO SUPERFICIAL (S1 PI), PTO 18/ SEÇÃO 18.....</b>	<b>110</b>
<b>FIGURA 24: SOLO DE ALTERAÇÃO S2 BA NA CRISTA DO TALUDE DE CORTE DA SEÇÃO PTO 10/ SEÇÃO 10.....</b>	<b>111</b>
<b>FIGURA 25: ROCHA ALTERADA DURA R2 BA, PTO 9/ SEÇÃO 9.....</b>	<b>112</b>
<b>FIGURA 26: SEÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA 23 (KM 197+700, PISTA SUL). 114</b>	
<b>FIGURA 27: VISTA LATERAL DO TALUDE DE ATERRA ONDE FOI REALIZADA A SEÇÃO 23.</b>	
<b>NOTAR AS FEIÇÕES DE RASTEJO E EROSÕES PRESENTES. ....</b>	<b>114</b>

<b>FIGURA 28: ESTEREOGRAMA DE CONTORNO DA FAMÍLIA DE FRATURAS F1 .....</b>	<b>118</b>
<b>FIGURA 29: ESCORREGAMENTO CAUSADO POR EVOLUÇÃO DA EROSÃO ASSOCIADA POR SUA VEZ A OBRAS DE DRENAGEM MAL ESTRUTURADAS.....</b>	<b>119</b>
<b>FIGURA 30: QUEDA DE BLOCOS DECIMÉTRICOS (EM VERMELHO) DE ROCHA ALTERADA DURA (R2 BA) DA FORMAÇÃO SERRA GERAL KM 196 +300, PTO 10/ SEÇÃO 10.....</b>	<b>120</b>
<b>FIGURA 31: CANALETA DE CRISTA DE TALUDE REVESTIDA E ASSOREADA. PTO 10/ SEÇÃO 10.....</b>	<b>120</b>
<b>FIGURA 32: REDUTOR DE ENERGIA PTO 21/ SEÇÃO 21.....</b>	<b>121</b>
<b>FIGURA 33: REDUTOR DE ENERGIA PTO 8.....</b>	<b>122</b>
<b>FIGURA 34: CORTINA ATIRANTADA LOCALIZADA AO LADO DO REDUTOR DE ENERGIA – PTO 8.....</b>	<b>122</b>
<b>FIGURA 35: OBRA DE CONTENÇÃO – CORTINA ATIRANTADA.....</b>	<b>123</b>
<b>FIGURA 36: ESCORREGAMENTO CONDICIONADO POR ESTRUTURAS (A) ANTES DA REALIZAÇÃO DA OBRA DE CONTENÇÃO E (B) COM O GABIÃO.....</b>	<b>124</b>
<b>FIGURA 37: CANALETA REVESTIDA COM REDUTOR DE ENERGIA.....</b>	<b>124</b>
<b>FIGURA 38: CANALETA DE DRENAGEM REVESTIDA COM SATURAÇÃO DE ÁGUA .....</b>	<b>125</b>
<b>FIGURA 39: ESCADA D'ÁGUA, LOCALIZADA NO PONTO 18/ SEÇÃO 18, KM 191+450.....</b>	<b>126</b>
<b>126</b>	
<b>FIGURA 40: PROCEDIMENTO UTILIZADO PARA SE CALCULAR A PONDERAÇÃO DE CADA ATRIBUTO ESCOLHIDO EM PROGRAMA ARCVIEW 3.2A.....</b>	<b>127</b>

## ÍNDICE DE TABELAS

	pág
<b>TABELA 1- CLASSIFICAÇÃO PROPOSTA POR VARNES (1978).....</b>	<b>21</b>
<b>TABELA 2- CLASSIFICAÇÃO DOS MOVIMENTOS DE MASSA SUBAÉREAS 22</b>	
<b>TABELA 3 - CLASSIFICAÇÃO DE FREIRE (1965).....</b>	<b>25</b>
<b>TABELA 4 - CLASSIFICAÇÃO DAS CAUSAS DE MOVIMENTOS DE MASSA TERZAGHI (1950 IN POLITÉCNICA USP 1967).....</b>	<b>27</b>
<b>TABELA 5- VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS DOIS TIPOS DE MALHA DE UM MDT. (BURROUGH, 1986):.....</b>	<b>68</b>
<b>TABELA 6 - PARTE DA CHAVE PARA OBTENÇÃO DO POTENCIAL DE ACIDENTE .....</b>	<b>79</b>
<b>TABELA 7 - CRITÉRIOS PARA DETERMINAÇÃO DO GRAU DADO AO FATOR GEOMÉTRICO PARA A OBTENÇÃO DO POTENCIAL DE ACIDENTE.....</b>	<b>80</b>
<b>TABELA 8- DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES HIPSOMÉTRICAS (EM M2 E EM %) NA ÁREA ESTUDADA.....</b>	<b>97</b>
<b>TABELA 9- DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES DE DECLIVIDADE EM % E EM M2 NO TRECHO ANALISADO. ....</b>	<b>99</b>
<b>TABELA 10- DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES DE CURVATURAS EM % E EM M2. 101</b>	
<b>TABELA 11 - FAIXA DE VARIAÇÃO EM GRAUS DE CADA UMA DAS DIREÇÕES DAS VERTENTES.....</b>	<b>103</b>
<b>TABELA12- DISTRIBUIÇÃO DAS ÁREAS EM M2 E EM % DA DIREÇÃO DAS VERTENTES.....</b>	<b>104</b>
<b>TABELA 13- DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS NA ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>106</b>
<b>TABELA 14- SEÇÕES DOS TALUDES DE CORTE E ATERRO.....</b>	<b>115</b>
<b>TABELA 15- ATRIBUTOS ESCOLHIDOS PARA A REALIZAÇÃO DO MAPA DE POTENCIAL DE INSTABILIZAÇÃO.....</b>	<b>132</b>

**TABELA 16- DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES DE POTENCIAL DE INSTABILIZAÇÃO EM M2 E EM %.....134**

**TABELA 17 – CHAVE PARA OBTENÇÃO DO POTENCIAL DE ACIDENTE 136**

**TABELA 18 - LOCALIZAÇÃO (EM QUILÔMETROS), TIPO DE TALUDE, EXTENSÃO, PERCENTAGEM DA ÁREA TOTAL, DOS POTENCIAIS DE ACIDENTE MÉDIO E ALTO – PISTA SUL (A) E PISTA NORTE (B).....139**

## **RESUMO**

O presente estudo desenvolveu uma metodologia para mapeamento de potencial de instabilidade de taludes rodoviários. Utilizou-se, para tanto, SIG – Sistema de Informações Geográficas e seções geológico-geotécnicas de detalhe obtidas em levantamentos de superfície. Esta metodologia foi utilizada em trecho da Rodovia Washington Luís (SP-310), sob duas condições distintas. Inicialmente, foi aplicada à totalidade da área estudada a ponderação dos atributos de percentual de declividade, materiais inconsolidados, curvatura de encostas e direção de vertentes, obtendo-se o Mapa de Potencial de Instabilidade. Na faixa da ADA (área diretamente afetada da rodovia – com 50m de largura), esta metodologia deu especial ênfase às seções geológico-geotécnicas, que permitiram uma melhor compreensão da geometria dos taludes de corte e aterro e disposição dos materiais inconsolidados e foram utilizadas como critérios para a compartimentação destes taludes resultando no Mapa de Potencial de Acidente.

Outros produtos cartográficos deste estudo são os mapas Hipsométrico, de Declividade, de Curvatura de Encostas, de Direção de Vertentes e de Materiais Inconsolidados que serviram de base para a realização dos mapas de Potencial de Instabilidade e de Acidente, todos elaborados na escala de 1:10.000.

**Palavras chave:** potencial de instabilidade de taludes rodoviários, SIG, Rodovia Washington Luís.

## **ABSTRACT**

The present study developed a methodology for mapping of instability potential of road slopes. It was used, for in such a way, GIS - Geographic Information System and obtained geologic-geotechnical of detail sections in surface surveys. This methodology was used in a section of Road Washington Luís (SP-310), under two different conditions. First, it was applied to the totality of the studied area the weight of the attributes of declivity percentage, unconsolidated materials, hillsides curvature and slopes direction, obtaining itself the Map of Potential of Instability. In the ADA band (area directly affected of the highway - with 50m of wide), this methodology gave special emphasis to the sections geologic-geotechnical that had allowed one better understanding of the unconsolidated materials disposal and had been used as criteria for the fill and cut slopes compartmentation, resulting in the Map of Potential of Accident. Final products of this study are Map of slope, Derive slope, curvature, Derive aspect and unconsolidated Materials maps that had served as base for the accomplishment of the map subject of this work, the Potential of Instability and Accident map. The main scale adopted for these cartographic documents was 1:10.000.

**Key Words:** instability potential of road slopes, GIS, Highway Washington Luís.

## 1. INTRODUÇÃO

A política atual de concessão de rodovias tem ocasionado uma reativação da demanda no campo da engenharia rodoviária, tanto em seus aspectos de projeto geológico-geotécnico, como nas suas questões ambientais, envolvendo a gestão de rodovias em operação e novos empreendimentos a serem implantados.

Por sua natureza linear, as rodovias atravessam uma grande variedade de materiais geológicos e sistemas de relevo, que apresentam características e propriedades distintas e, portanto, poderão responder diferentemente aos serviços de terraplenagem e gerar problemas de estabilidade em seus taludes de corte e aterro, constituindo-se em restrições geológico-geotécnicas potenciais importantes neste tipo de obra.

Dentro deste quadro, faz-se necessário a pesquisa e o aprimoramento de mapeamento destas diferentes restrições geológico-geotécnicas, ao longo de traçados existentes ou projetados.

Este trabalho é voltado ao estudo e aplicação de um método de mapeamento do potencial de instabilização de taludes rodoviários utilizando Sistema de Informações Geográficas – SIG e seções geológico-geotécnicas de detalhe obtidas em levantamentos de superfície.

Os escorregamentos e os fenômenos erosivos pluviais lineares foram definidos como os principais processos de instabilização a serem analisados através do estudo de seus agentes/ condicionantes predisponentes.

Para a aplicação, validação e análise dos resultados obtidos, definiu-se uma área de estudo ao longo da Rodovia Washington Luís (SP-310), abrangendo uma faixa de 500 metros de cada lado do seu eixo entre os quilômetros 187+255 a 198+970, no município de Corumbataí (SP), totalizando uma área de cerca de 1.178 ha.

A rodovia SP- 310 foi inaugurada em 1928 e concedida à iniciativa privada (Centrovias Sistemas Rodoviários S/A) em junho de 1998. Apresenta fundamental importância para o centro-oeste do Estado de São Paulo, interligando importantes cidades desta região como: Rio Claro, São Carlos, Araraquara, São José do Rio Preto entre outras.

Este trecho da rodovia foi escolhido devido à facilidade de acesso, e por atravessar diferentes tipos de relevo (colinas amplas a escarpas), formações geológicas e materiais inconsolidados, propiciando distintas combinações de características geológico-geotécnicas e processos de instabilização dos taludes.

A principal escala adotada para os produtos cartográficos foi de 1:10.000.

## 2. OBJETIVOS

O objetivo geral desta pesquisa é o desenvolvimento de um método de mapeamento do potencial de instabilização de taludes rodoviários combinando técnicas de geoprocessamento (SIG) e levantamentos sistemáticos de campo (seções geológico-geotécnicas).

Os objetivos complementares propostos são:

- Aplicar o método estudado no trecho da Rodovia SP-310, entre os km 187+255 a 198+970;
- Desenvolver uma base dados do meio físico e das características dos taludes da rodovia SP-310 no trecho estudado para subsidiar ações de gestão e manutenção da rodovia.

## 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Antes da discussão dos principais aspectos conceituais e teóricos que fundamentam a presente pesquisa, cabe aqui uma breve distinção entre três conceitos aparentemente já conhecidos pela literatura especializada, mas que ainda são fonte de equívocos, os quais provocam por sua vez uma inadequação e até mesmo imprecisão quanto aos seus usos, ou seja, os termos **carta, mapa e planta**.

De acordo com Santos (1989), os termos mapa, carta e planta são, muitas vezes, empregados como sinônimos ou de forma confusa em vários trabalhos técnico-científicos. Na linguagem cartográfica formal, **mapa** pode ser

definido como a representação espacial dos fenômenos naturais e humanos de uma área, dentro de um sistema de coordenadas e em determinada escala.

**Carta** é descrita como o conjunto de mapas gerados para uma área ou região onde cada um deles recebe o nome da folha. E, finalmente, **planta** é entendida como a representação cartográfica plana de uma área com pequena extensão.

Zuquette & Nakazawa (1998) afirmam que o termo **mapa** deve ser utilizado para o documento que registra as informações atributos ou temas do meio físico sem, ou com pouca interpretação. Ainda segundo estes autores o termo carta refere-se a um documento cartográfico, que apresenta as informações obtidas nos mapas, elaborados para atender objetivos específicos.

Na presente pesquisa adotar-se-á o termo mapa para todos os documentos cartográficos produzidos no decorrer dos trabalhos. Em citações de trabalhos de terceiros será utilizada a denominação original empregada pelos autores - mapa ou carta.

Para compreendermos as definições de movimento de massa, devemos entender primeiramente, de forma geral, os conceitos de **encosta** e **talude**, definidos a seguir:

Segundo Stochalak (1974) as encostas podem ser definidas como “toda superfície natural inclinada unindo outras duas, caracterizadas por diferentes energias potenciais gravitacionais”.

Já o termo talude, segundo Wolle (1980), “é mais empregado para definir encostas próximas a obras lineares, de mineração etc., tendo um caráter mais geotécnico e relacionado a áreas restritas”.

Wolle (1980) menciona que se utiliza também na terminologia específica para taludes: “talude de corte para taludes resultantes de algum processo de escavação realizado pelo homem, e taludes artificiais relacionados aos declives de aterros, construídos de materiais diversos”.

Deve-se também entender as definições, classificações e agentes responsáveis pela ocorrência dos movimentos de massa, conforme será explicado nos itens a seguir:

#### 4. Definições de movimentos de massa

Tomando os conceitos anteriormente definidos, se estabelece, então, a definição de movimento de massa. Hutchinson (1968) define movimento de massa como sendo:

os processos de transporte de matéria sólida da dinâmica superficial do nosso planeta que podem ser subdivididos em movimentos gravitacionais de massa, definidos como todos aqueles que são induzidos pela aceleração gravitacional, e em movimentos de transporte de massa, onde o material movimentado é transportado por um meio qualquer como água gelo ou ar.

Selby (1990) retoma os conceitos já definidos por Hutchinson (*op.cit.*) e define movimento de massa como sendo:

o movimento de solo ou material rochoso encosta abaixo sob a influência da gravidade, sem a contribuição direta de outros fatores como água, ar ou gelo. Entretanto, água e gelo geralmente estão envolvidos de forma secundária em tais movimentos, reduzindo a resistência dos materiais e interferindo na plasticidade e fluidez dos solos. Inclui-se nesse processo, desde deslocamentos lentos dos materiais de encostas pouco inclinadas até a queda livre de blocos rochosos em vertentes íngremes. 'Os movimentos de massa internamente estão ligados à alteração do equilíbrio entre as tensões no interior da massa. Esse equilíbrio é controlado principalmente pelo teor de água e pelo teor e estrutura interna das argilas. O plano de ruptura dos movimentos geralmente está relacionado a descontinuidades mecânicas e/ou hidráulicas, localizando-se preferencialmente nos contatos entre o solo, o saprolito e a rocha sã.' (CRUZ, 1974).

Guidicini e Nieble (1976) complementam a definição de Hutchinson (1968) dizendo que:

Os Movimentos de massa, ou movimentos coletivos de solos e rochas, têm sido objeto de amplos estudos em diversas latitudes, não apenas por sua importância como agentes atuantes na evolução das formas de relevo, mas também em função de suas implicações práticas e de sua importância do ponto de vista econômico. Existe, na literatura, um extenso acervo de dados e observações realizados nas diversas categorias de profissionais: geólogos, mecanicistas de solos, construtores, geomorfólogos, engenheiros, geógrafos. Obviamente, a atuação e a atenção de cada um destes profissionais estão voltadas e orientadas em aspectos nem sempre coincidentes. Os diferentes enfoques são o reflexo do interesse de cada campo de especialização.

Um dos fatores que devem ser considerados, quando da compreensão da definição de movimento de massa, é a ocorrência de precipitação em uma

região, pois é de conhecimento geral que o solo possui uma capacidade limite de absorção de água, ou seja, uma capacidade acima da qual há ocorrência de escoamento e que nem toda água da chuva consegue penetrar no solo. No entanto, deve-se atentar para o caso “em que a intensidade da precipitação é menor que a capacidade de infiltração calculada, onde toda chuva infiltra” (SILVEIRA, LOUZADA e BELTRAME, 1993).

Segundo Silveira (*op.cit.*), “a capacidade ou taxa de infiltração é o índice volumétrico de quanto o solo pode receber de umidade entre seus poros. Esta taxa depende de alguns fatores controladores, tais como: ***cobertura vegetal*** e de ***teor de matéria orgânica*** sobre o solo como também das ***características físicas do solo*** (textura, estrutura e porosidade), ***estado da superfície*** e ***atividade biogênica***”.

O processo de infiltração se efetua durante e após os eventos chuvosos, onde parte da água escoa até a superfície do terreno, atravessando a vegetação direta ou indiretamente e penetrando no solo.

Segundo Coelho Neto (1994),

A água continuará infiltrando até a capacidade e/ou taxa de infiltração ser atingida, isto é, a partir do instante que todos os espaços entre os grânulos estiverem preenchidos (poros) haverá a obstrução na entrada de água. Assim, a água que não infiltrar nos solos ou rochas, escoará superficialmente; quanto à água infiltrada, depois de preencher o déficit de água no solo, poderá gerar um escoamento subsuperficial.

A compreensão do processo de infiltração de água no solo é, então, de grande importância para o entendimento e análise do ciclo hidrológico, pois é em função de quanto o solo é capaz de reter líquido, que haverá o surgimento de escoamentos superficial ou subsuperficial.

Coelho Neto (1994) atesta que a

movimentação das águas sobre e/ou sob a superfície possui papel central na formação e evolução dos movimentos de massa e os estudos sobre escoamentos das águas em diferentes trajetórias e são fundamentais ao entendimento e quantificação da erosão dos solos e, portanto, na modelagem geomorfológica.

Outra visão do conceito de movimento de massa é aquela que envolve fatores como o clima, que possivelmente se constitui no principal condicionante para os deslizamentos, devido à saturação dos solos e a consequente perda de estabilidade dos agregados.

Pio Fiori (1995), define que “os movimentos de massa são fenômenos de modelagem da superfície terrestre estritamente ligados às condições climáticas úmidas, ao intenso processo de intemperismo das rochas e à força gravitacional”.

Uma complementação do conceito de movimento de massa já apresentado por Shelby (1990) é a de Lima (1998), onde o mesmo se “caracteriza pela complexidade, variando tanto no material envolvido, quanto na velocidade dos processos em sua escala espaço-temporal”. Segundo Lima, (op cit), “o material removido (solo, rocha, lixo, etc) projeta-se encosta abaixo acionado pela força gravitacional, depositando-se na área de convergência de fluxos (anfiteatro) alinhando-se ao longo de terracetes marginais”.

De acordo com Fernandes et al.(2001),

outros fatores também são condicionantes no que diz respeito à ocorrência de um movimento de massa, sendo este uma complexa relação entre fatores geomorfológicos, (com destaque para morfologia e morfometria da encosta); geológico-geotécnicos, (englobando as características litoestruturais, fraturas subverticais e falhamentos tectônicos); hidrológico-climáticos, (com ênfase sobre o potencial mátrico, poro-pressões positivas, umidade do solo); pedológicos, (com destaque para as propriedades físicas, morfológicas - densidade, porosidade, etc.) e hidráulicas do solo (condutividade hidráulica saturada e não saturada), além do elemento humano, principal agente para deflagração dos deslizamentos, devido à quebra do equilíbrio dinâmico entre os condicionantes biogeofísicos, acelerando a dinâmica dos processos.

As formas de uso ocupação do solo atuam decisivamente na deflagração de movimentos de massa, especialmente em áreas ocupadas. Escavações e a instalação de casas e prédios em terrenos inclinados podem desestabilizar a cobertura superficial. A abertura de ruas e caminhos seguindo a declividade das encostas contribui para concentração de fluxos d’água superficiais e subsuperficiais, gerando zonas de saturação propícias à ocorrência de movimentos.

Para Herrmann & Dias (2002),

Os movimentos de massa fazem parte da dinâmica da paisagem. Destacam-se como um dos principais processos geomorfológicos responsáveis pela evolução do relevo, sobretudo em áreas montanhosas. Remobilizam materiais ao longo das encostas em direção às planícies e promovem, juntamente com os processos erosivos, o recuo das encostas e a formação de rampas coluviais. Entretanto, quando ocorrem em áreas ocupadas podem se tornar um problema, causando mortes e enormes prejuízos materiais.

Os escorregamentos e processos correlatos fazem parte do rol dos movimentos gravitacionais de massa, diretamente relacionados à dinâmica das encostas, se distinguindo das subsidências e colapsos, também pertencentes a este grande grupo.

Freire (1965) define escorregamento, no sentido amplo do termo, como sendo a “afirmação da natureza coletiva do deslocamento de partículas, mediante a qual se faz a distinção entre esses fenômenos e os processos da transferência individual de partículas sobre a ação de um agente exterior, como por exemplo, à água e o vento”.

Freire (1965) inclui ainda, neste conceito, fatores que afetam o meio físico como, por exemplo,

“Os desabamentos de margens fluviais ou lacustres e de costas marítimas, a queda de falésias, as avalanches, os deslocamentos de solos ou rochas por fluidificação ou plastificação (desde os rastejos de rochas, solos ou detritos, as correntes de lava ou de lama, até as geleiras), o destacamento ou desgarramento de massas terrosas ou rochosas, a solifluxão a subsidência e diversos tipos (recalques, depressões afundamentos desabamentos abatções), como caso limite e sob certas condições o próprio transporte fluvial”.

Pode-se afirmar que os escorregamentos constituem-se num dos processos mais importantes associados à dinâmica superficial do território brasileiro. Essa importância decorre das elevadas freqüências e da grande extensão de área com potencialidade para ocorrência destes processos.

“Este quadro é resultado das características geológicas, geomorfológicas e climáticas do Brasil, acrescidas de alguns processos socioeconômicos verificados no país, (85% da população em áreas urbanas- IBGE 1992) e ao empobrecimento geral da população” Augusto Filho (1994).

Estes fatores contribuem para a instalação de situações de risco nas cidades a partir da ocupação de áreas naturalmente susceptíveis a escorregamentos sem os critérios mínimos recomendados.

Segundo Augusto Filho (1994), este diagnóstico aponta para uma grande demanda relacionada ao desenvolvimento de técnicas de análise e controle dos escorregamentos voltadas a realidade ambiental e social do país.

Face à extrema diversidade de enfoque, à complexidade dos processos envolvidos e à multiplicidade de ambientes de ocorrência, o tema “escorregamentos” apresenta uma grande dificuldade de análise e síntese.

Essa dificuldade se manifesta com a falta de existência de um sistema classificador razoavelmente divulgado e aceito em decorrência da própria falta de definições básicas dos fenômenos envolvidos e da ausência de uma nomenclatura padronizada. (UNESCO, 1991)

Os movimentos de massas podem se dividir em *escorregamento*, *escoamento* e *subsidiência* (GUIDICINI E NIEBLE (1976)). Estas divisões encontram-se associadas a características específicas e podem ainda apresentar subdivisões conforme mostrado na Figura 1.



Figura1: Fluxograma demonstrando as divisões dos movimentos de massa (Guidicini & Nieble, 1976)

## 5. Classificações dos movimentos de massa

As classificações dos movimentos de massa são, de forma geral, muito complexas, pois há uma grande variedade de materiais e processos envolvidos.

Devem ser levados em conta, quando da análise das diversas classificações, parâmetros como: **velocidade e mecanismo do movimento**; **características dos materiais**; **modo de deformação**; **geometria do movimento** e **quantidade de água envolvida**. Algumas classificações foram propostas, tanto na literatura nacional quanto na internacional, conforme mostrado a seguir:

Os principais sistemas classificatórios de movimento de massa da literatura internacional foram compilados no trabalho de Selby (1990). Segundo este autor, o primeiro trabalho visando uma classificação palpável de movimentos de massa foi elaborado por (SHARPE, 1938 *in* GUIDICINI E NIEBLE (1976)). A classificação de Sharpe foi feita de acordo com os seguintes parâmetros: velocidade do movimento, tipo de material (rocha ou solo), quantidade de água e gelo contidos na massa. Os movimentos foram, então, por ele divididos, em duas categorias principais: fluxos ou corridas (*flows*) e escorregamentos (*slides*), sendo que estas categorias subdividem-se em várias outras.

Todas as propostas posteriores foram de alguma forma influenciadas pelo trabalho pioneiro de Sharpe. Entre elas estão as classificações elaboradas por Varnes (1958,1978) e por Hutchinson (1968). A última proposta de Varnes, em 1978, se refere somente aos movimentos mais rápidos e inclui o modo de deformação como um novo parâmetro apresentando um maior refinamento no que diz respeito aos tipos de materiais. Além disso, classifica alguns movimentos como **complexos** (combinações de dois ou mais tipos), reconhecendo assim a dificuldade em estabelecer limites rígidos entre um tipo de movimento e outro (Tabela1).

Tabela 1- Classificação proposta por Varnes (1978).

TIPO DE MOVIMENTO			TIPO DE MATERIAL		
			ROCHA	SOLO (ENGENHARIA)	
QUEDAS			De rocha	De detritos	De terra
TOMBAMENTOS			De rocha	De detritos	De terra
ESCORREGAMENTOS	ROTACIONAL	POUCAS UNIDADES			
	TRANSLACIONAL	MUITAS UNIDADES			
EXPANSÕES LATERAIS					
CORRIDAS/ESCOAMENTOS					
COMPLEXOS: Combinação de 2 ou mais tipos de movimentos					

Augusto Filho (1995) destaca o fato da proposta de Varnes (1978) ser considerada a classificação oficial da Associação Internacional de Geologia de

Engenharia – IAEG e de ser a classificação mais utilizada em âmbito internacional.

Hutchinson (1968), em sua primeira classificação, apesar de não utilizar o modo de deformação como parâmetro, procura englobar todos os tipos de materiais envolvidos na questão de escorregamentos. Este parâmetro passou a ser levado em consideração em sua segunda classificação, em 1988. Sua classificação original inclui o rastejamento (*creep*), os escorregamentos (*landslides*) e os movimentos ligados especificamente ao congelamento e degelo da superfície (*frozen ground phenomena*).

Em sua segunda classificação, Hutchinson (1988), acrescenta que a diversidade dos fatores que interferem no processo de movimentos de massa gravitacionais resulta numa variedade de tipos e processos que impossibilitam uma total discretização de tipos na classificação. Por isto, os tipos de movimentos de massa considerados são: recuo, rastejo, rompimento de taludes de montanhas, escorregamentos, movimentos de detritos em forma de fluxo, tombamentos, quedas e movimentos complexos de taludes, como apresentados na Tabela 2:

Tabela 2- Classificação dos movimentos de massa subaéreas

TIPOS DE MOVIMENTOS FUNDAMENTAIS	PRINCIPAIS TIPOS DE OCORRÊNCIAS
A- Recuo (" Rebound")	1- escavações 2- vales naturalmente erodidos
B- Rastejo	1- superfície sazonal e manto de alteração 2- contínuo, profundamente assentado e de massa 3- pré-ruptura e progressivo 4- pós-ruptura
C-Rompimento dos taludes de montanhas (" SAGGING OF MOUNTAIN SLOPES")	1-unilateral 2-bilateral 3-rompimento múltiplo
D- Escorregamentos (" LANDSLIDES")	1-fraturas confinadas 2-rotacionais 3-compostos 4-translacionais
E- mov. de detritos em forma de fluxo (" debris mov. of flow- like form")	
F- TOMBAMENTOS (" TOPPLES")	
G- QUEDAS (" FALLS")	1-primárias 2-secundárias
H- MOVIMENTOS COMPLEXOS DE TALUDES (COMPLEX SLOPE MOUVEMENTS)	

Fonte HUTCHISON (1988) modificado apud SOUSA (1996).

Já (NENCOK et al. 1972 *in* GUIDICINI e NIEBLE, 1976), considera 21 possibilidades de movimentos de massa relacionados a corpos rochosos e enquadrados em quatro classes: quedas, fluxos, escorregamentos e escoamentos (*creep*).

Hasegawa (1985) elabora uma classificação que tem por princípio auxiliar na elaboração do mapa de Inventário de Feições e foi desenvolvida com base em dados que possam ser obtidos em função de: morfologia da feição característica do “*landform*”; características da área de transferência; características da área de transposição; características das formas das superfícies (longitudinais e transversais) de rompimento.

As classificações brasileiras também foram influenciadas pelo trabalho de Sharpe. A primeira delas, elaborada por Freire em 1965, divide os movimentos em escoamentos (rastejo e corridas), escorregamentos (rotacionais e translacionais), subsidências e desabamentos (WOLLE (1985)). Esta proposta foi adaptada por Guidicini e Nieble (1976). A classificação acima citada foi baseada em centenas de casos concretos estudados pelo autor, com a colaboração dos técnicos do DER-PR, e inúmeros relatórios tratando-se de casos especiais ou trechos da rodovia BR-35 situada no Estado do Paraná.

Freire (1965) faz primeiramente um relato dos tipos mais comuns de descontinuidades condicionadas a escorregamentos. Para estabelecer sua definição de escorregamento (Tabela 3), levou em consideração as características topográficas ou morfológicas da massa movimentada e do corpo sobre o qual se desloca; assim como a forma e as características de superfície sobre a qual o escorregamento se processa. O autor leva, também, em consideração as causas dos escorregamentos, dividindo-as em **causas intrínsecas** (ou predisponentes) e **causas extrínsecas**.

O autor cita alguns trechos dos trabalhos dos principais autores da época, reprimendo conceitos até então adotados no que diz respeito ao tema estabilidade de talude (Tabela 3).

Guidicini e Nieble (1976) propõem uma classificação modificada de Freire (1965), onde os movimentos coletivos de solo e de rocha são então divididos em três tipos fundamentais: **escoamentos**, **escorregamentos** e **subsidências**.

- a) **Escoamentos:** Correspondem a uma deformação ou movimento contínuo com ou sem superfície definida de movimentação e encontram-se classificados segundo as características do movimento em dois tipos: corrida (escoamento-fluído viscoso) e rastejo e reptação (escoamento plástico).
- b) **Escorregamentos:** (em seu sensu strictu): Correspondem a um deslocamento finito ao longo de uma superfície definida de deslizamento preexistente ou de neoformação. Classificam-se também, em dois subtipos, conforme haja predomínio de rotação (escorregamentos rotacionais) ou de translação (escorregamentos translacionais).
- c) **Subsidências:** Correspondem a um deslocamento finito, ou deformação contínua de direção essencialmente vertical e encontram-se classificadas em três tipos fundamentais: ***subsidências propriamente ditas*** (em que o movimento consiste essencialmente em uma deformação contínua), ***recalque*** (em que, por expulsão de um fluido verifica-se uma deformação global do solo, produzida pelos deslocamentos e rearranjos das partículas individuais) e, finalmente, os ***desabamentos***, (que consistem em um deslocamento vertical, geralmente rápido).

Tabela 3 - Classificação de Freire (1965)

TIPO FUNDAMENTAL	SUB-TIPO	CLASSE PRINCIPAL
ESCOAEMENTOS  CONSISTINDO EM DEFORMAÇÃO OU MOVIMENTO CONTÍNUO COM OU SEM SUPERFÍCIE DEFINITIVA DE ESCORREGAMENTO	RASTEJO REPTAÇÃO	1,1,1-Rastejo de solo 1.1.2-Rastejo de detritos. De talus 1.1.3- Rastejo de rocha 1.1.4- Solifluxão 1.1.5-Rastejo de detritos 1.1.6- Geleiras
	CORRIDAS	1.2.1- Corrida de terra 1.2.2.- Corrida de areia ou silte 1.2.3- Corrida de Lama 1.2.4- Avalanche de detritos
ESCORREGAMENTO  CONSIST. EM DESLOCAMENTO FINITO AO LONGO DA SUPERFÍCIE DE MOVIMENTO OU DEFORMAÇÃO	ESCORREGAMENTOS ROTACIONAIS	2.1.1- Escorregamento de Taludes 2.1.2- Escorregamento de base 2.1.3- Rotura do solo ou fundação
	ESCORREGAMENTOS TRANSLACIONAIS	
SUBSIDÊNCIA  CONSISTE EM DESLOCAMENTO FINITO OU DEFORMAÇÃO CONTINUA VERTICAL	SUBSIDENCIA	3.1.1- Carreamento de grãos 3.1.2-Dissolução camadas inferiores cavernas 3.1.3-Deformação de estratos inferiores 3.1.4- Rotura de estratos inferiores 3.1.5-Retirada do suporte lateral
	RECALQUES	3.2.1-Consolidação 3.2.2-Compactação
	DESABAMENTOS	3.3.1-Rotura de camada 3.3.2-Subescavação 3.3.3-Retirada do suporte lateral
4		Formas de transição ou termos de passagem
5		Movimentos de massa complexos

A partir destes três tipos e sete subtipos fundamentais, o autor diferencia 32 classes principais. Essas classes passam, então, a serem caracterizadas de acordo com os parâmetros físicos-mecânicos-causais, abaixo discriminados:

Natureza e superfície de movimentação; Inclinação do talude; Características qualitativas do movimento; Tipo de movimento; Velocidade e duração; Termos de passagem de um tipo de movimento para outro; Causas intrínsecas e

extrínsecas, estas últimas divididas em indiretas e diretas, sendo ainda subdivididas em preparatórias e imediatas. No item causas, verificar o modo de ação das mesmas; efeitos sobre as condições de equilíbrio; processos corretivos de movimentos de massa.

Cruden (1991), em seu trabalho realizado junto à UNESCO, propõe uma definição para escorregamento: “um escorregamento é o movimento de solo, rochas e detritos encosta abaixo”. Esta definição foi também utilizada por autores que estavam envolvidos na missão de realizar um guia mundial para o estudo de movimento de massa gravitacional. Em 1994, para garantir a homogeneidade de conceitos entre os pesquisadores, a Associação Internacional de Geologia de Engenharia, em parceria com a UNESCO, elaborou o glossário multilíngüe (WP/WLI, 1994). Nesta classificação, são considerados como movimento de Massa Gravitacional: quedas, escorregamentos, espalhamentos laterais, escoamentos (fluxos).

É possível notar diferenças significativas entre as várias classificações analisadas. Isto se deve, sobretudo à falta de um critério único. Cada autor atribui maior importância a um determinado parâmetro, seja a **velocidade**, os **materiais envolvidos**, o **modo de deformação** etc. Entretanto, nota-se que alguns tipos genéricos de movimentos de massa estão presentes na maior parte das classificações. São eles: o rastejamento (*creep*), as corridas (*flows*), os escorregamentos (*slides*) e as quedas de blocos (*rockfalls*), conforme proposto por Augusto Filho (1992).

## **6. Agentes e causas de movimentos de massa**

Segundo Terzaghi (1950 in Politécnica USP 1967), as causas dos escorregamentos se agrupam em três tipos denominadas internas, externas e intermediárias, descritas a seguir na Tabela 4.

Tabela 4 - Classificação das causas de movimentos de massa **Terzaghi (1950 in Politécnica USP 1967)**

<b>Causas externas:</b>	São devidas a ações externas que alteram o estado de tensão atuante sobre o maciço. Esta alteração resulta num acréscimo das tensões cisalhantes, que igualando ou superando a resistência intrínseca do solo leva o maciço à condição de ruptura, aumento da inclinação do talude, deposição de material ao longo da crista do talude, efeitos sísmicos.
<b>Causas internas:</b>	São aquelas que atuam reduzindo a resistência ao cisalhamento do solo constituinte do talude, sem ferir o aspecto geométrico visível, podendo ser: aumento de pressão na água intersticial; decréscimo da coesão.
<b>Causas intermediárias:</b>	São as que não podem ser explicitamente classificadas em uma das duas classes anteriormente definidas. Efeitos da água subterrânea, efeitos de resfriamento, intemperismo das rochas, mudanças na cobertura vegetal dos taludes, efeitos da água subterrânea.

### 3.4. Processos erosivos

A erosão é um processo natural de desagregação, decomposição, transporte e deposição de materiais de rochas e solos que vem agindo sobre a superfície terrestre desde os seus princípios. Contudo, a ação humana sobre o meio ambiente contribui exageradamente para a aceleração do processo, trazendo como consequências, a perda de solos férteis, a poluição da água, o assoreamento dos cursos d'água e reservatórios e a degradação e redução da produtividade global dos ecossistemas terrestres e aquáticos.

Segundo Oliveira *et al* (1987), este fenômeno de erosão vem acarretando, através da degradação dos solos e, por consequência, das águas, um pesado ônus à sociedade, pois além de danos ambientais irreversíveis, produz também prejuízos econômicos e sociais, diminuindo a produtividade agrícola, provocando a redução da produção de energia elétrica e do volume de água para abastecimento urbano devido ao assoreamento de reservatórios, além de uma série de transtornos aos demais setores produtivos da economia.

Os processos erosivos são condicionados basicamente por alterações do meio ambiente, provocadas pelo uso do solo nas suas várias formas, desde o desmatamento e a agricultura, até obras urbanas e viárias, que, de alguma forma, propiciam a concentração das águas de escoamento superficial.

Segundo Lima (1987), o estabelecimento de qualquer processo erosivo requer, antes de tudo, um **agente** (água ou vento) e o **material** (solo), sobre o qual agirá, desprendendo e desagregando as partículas e transportando-as. A interação entre material e agente consiste na busca de um estado de maior equilíbrio, antes desfeito de forma natural ou devido a efeitos antrópicos.

Para designar os diferentes tipos de feições erosivas são utilizados os seguintes termos e definições:

- erosão laminar: feições erosivas oriundas de escoamento difuso das águas resultando na remoção progressiva e relativamente uniforme dos horizontes superficiais do solo;
- erosão linear: conjunto de feições erosivas causadas pela concentração de linhas de fluxo das águas de escoamento superficial podendo ser de três tipos conforme (FOURNIER, 1960 *apud* SOUZA, 2001);
- sulcos: pequenos canais resultantes da concentração de escoamentos superficiais;
- ravinas: feições erosivas resultantes do aprofundamento dos sulcos oriundos da concentração do escoamento superficial,
- boçorocas: constituem feições de erosão mais complexa e destrutiva do quadro evolutivo da erosão linear e são originadas por dois tipos de escoamento que podem atuar em conjunto ou separadamente: o superficial e o subsuperficial.
- intersulco: Tipo de feição erosiva que é causada pelo escoamento superficial que pode se dar em uma lâmina de água de pequena extensão e que se concentra em determinadas áreas, como, por exemplo, entre os sulcos já formados pelos processos erosivos (MEYER *et al* 1975 *apud* SOUZA, 2001).

### **3.5. Processos de instabilidade em taludes de corte e aterro**

- Erosão

O IPT, em seu levantamento realizado junto ao DNER-SP, (IPT, 1990 in IPT 1991), dividiu a área compreendida pelo Estado de São Paulo em oito unidades de análise, numeradas de I a VIII, algumas apresentando problemas, como será visto a seguir.

Quanto à erosão, (IPT, 1990 in IPT 1991), define processo erosivo como:

Entende-se por processo erosivo a destruição da estrutura do solo e sua remoção, sobretudo pelas águas de escoamento superficial, depositando em áreas mais baixas de relevo. Este processo pode ser intensificado pela intervenção do homem, acelerando-o e determinando um alto índice de deflagração da superfície da terra.

A erosão, tanto em encostas naturais quanto em taludes de corte, pode se dar por escoamento laminar, lavando a superfície do terreno como um todo, sem formar canais definidos. Outra maneira é o escoamento concentrado, formando as ravinas e podendo chegar à configuração de boçorocas, à medida que atinge o lençol freático.

Seu poder destrutivo é elevado e envolve outros processos como a ruptura das bordas de um talude, em consequência do solapamento da base do mesmo, geralmente de conformação subvertical.

Os processos de erosão apresentam, normalmente, uma peculiaridade que é a velocidade lenta, contínua e progressiva ao longo do tempo. Caracterizam por iniciar pequenos sulcos, evoluindo para ravinas, com dimensões variadas, dependentes das diferentes condições de concentração da água e das características do solo local.

IPT (1990 in IPT 1991), conclui, em seu levantamento feito nas rodovias do Estado de São Paulo que:

De maneira geral a erosão é responsável por grandes partes dos problemas que ocorrem ao longo das rodovias da malha estadual, principalmente quando se formam ravinas e boçorocas, que chegam a atingir os terrenos adjacentes. Sua ação pode-se dar sobressaindo-se ao demais processos combinada a outros eventos tais como os escorregamentos, cabendo-lhe o papel, muitas vezes de agente predisponente a ocorrência destes escorregamentos.

O combate à erosão torna-se, de maneira geral, difícil e oneroso, necessitando de acompanhamento e conservação constantes das soluções adotadas. Pelas características deste processo é mais fácil e menos custoso tratá-lo no início. Quando o problema se instala, exige alerta permanente nas regiões mais susceptíveis a este processo.

Para fins de apresentação (IPT, 1990 in IPT 1991), a erosão foi classificada da seguinte maneira: Erosão em taludes de corte ou aterro em sulco (em corte ou aterro) e diferenciada (em cortes); Erosão em plataforma (longitudinal, ao longo do acostamento); Erosão associada a obras de drenagem: localizada no final de canaletas; valetas, sangria e saídas de linha de tubo; Erosão interna em aterros: (*piping*), por ser associada a problemas na fundação ou no corpo de aterro, a erosão interna é abordada dentro de escorregamentos de aterros.

- Desagregação superficial em taludes

Este processo é considerado um problema de instabilidade superficial e apresenta, de maneira similar à erosão, características de destruição da estrutura do material e a sua posterior remoção. Este processo é de ocorrência mais comum em regiões tropicais e resulta em uma ação cíclica de umedecimento e ciclagem em solos saprolíticos micáceos ou cauliniticos. É comum, também aparecerem argilo-minerais expansivos disseminados em camadas sedimentares, o que aumenta substancialmente o desenvolvimento destes fenômenos.

- Escorregamento em cortes

A execução de cortes em uma encosta provoca alteração no estado de tensões atuantes no maciço, que tende a instabilizar na região a montante do talude. As tensões de tração que venham a ocorrer poderão provocar o aparecimento de trincas no mesmo. Durante a ocorrência de chuvas estas trincas podem ser preenchidas por água, fato ao qual estão associados muitos escorregamentos.

Além da alteração do estado de tensões, as modificações na geometria dos taludes alteram as condições de drenagem e cobertura vegetal, que podem facilitar a infiltração de água e a consequente saturação do maciço, reduzindo a resistência dos materiais envolvidos, assim como a ocorrência de diversos processos erosivos.

Os escorregamentos em corte são classificados pelas suas causas, citadas a seguir (IPT, 1990 in IPT 1991): inclinação acentuada; descontinuidades do maciço; saturação; evolução da erosão; presença de corpos de tálus.

- Escorregamentos em aterro

IPT (1990 in IPT 1991), conclui que:

As principais instabilizações observadas em aterros estão associadas a problemas no corpo de aterro propriamente dito, e ocorrem devido a sua má compactação ou devido à inexistência desta, ao uso de materiais inadequados, a geometria do talude (incompatibilidade da inclinação com a resistência do material), assim como a deficiência ou inexistência dos sistemas de drenagem. Observam-se também, com

alguma freqüência, que a prática de se executarem apenas nos últimos 2 ou três metros aterros (camadas superficiais), bem compactados é extremamente danosa, sendo responsáveis por incontáveis rupturas nestes aterros, além de outros problemas como recalques excessivos, como erosão superficial e interna (*piping*).

Deve-se ressaltar que as bordas dos aterros são as regiões mais afetadas por escorregamentos.

Os escorregamentos de bordas de aterro ocorrem atingindo geralmente a parte externa não compactada do aterro, e envolvendo pequeno volume de material, porém resultando em cicatriz com talude subvertical. Após este escorregamento, que normalmente é ignorado por sua pequena expressão, o aterro torna-se instável e inicia-se o processo remontante de trincas, que irá gerar futuras ocorrências de maiores proporções.

Os recalques são os fenômenos que ocorrem em aterros, interferindo de maneira substancial na pista. É comum ocorrerem abatimentos, desde poucos centímetros até poucos metros, podendo constituir-se em indícios de escorregamentos. As causas mais comuns para estes problemas são: baixa capacidade de suporte da fundação por compactação inadequada, deficiência do sistema de drenagem e rompimento de bueiros ou galerias.

IPT (1990 in IPT 1991) ressalta que:

Problemas de recalque e até mesmo de rupturas, estas principalmente ocorrendo durante a fase de execução, são observados em aterros construídos sobre solos de baixa capacidade de suporte, normalmente existentes em regiões de baixada. Principalmente nos solos moles da unidade VII. E também em algumas planícies encaixadas em regiões serranas. Neste caso, além dos problemas já citados, ocorrem problemas de estabilidade nos aterros assentes diretamente na rocha, pois o contato solo/ rocha é em geral uma superfície potencial de ruptura, principalmente se não for devidamente tratado.

Deve-se lembrar que o aterro atua, de forma direta, como sobrecarga no talude natural, podendo afetar as condições de estabilidade do maciço.

Um outro problema está associado à limpeza do terreno no preparo da fundação, antes do lançamento do material a ser compactado. Caso não se remova a vegetação a sua decomposição cria um meio poroso que pode ser um caminho preferencial de percolação e gerar deformações elevadas, causando recalques no aterro, sérios problemas de erosão interna (*piping*) e condicionando problemas de estabilidade. Problemas também aparecem no

caso de surgências de água no terreno que servirá de fundação para o aterro, quando não são detectadas e tratadas.

As rodovias, sendo obras de engenharia contínua e de longa extensão, ao se desenvolverem ao longo de uma encosta, acabam por interceptar as linhas de drenagem natural (ou talvegues). Quando a travessia destes talvegues, que apresentam grandes volumes de água, não é feita por obras de arte e sim por aterros, uma solução bastante usual é permitir a passagem das águas sob o aterro, através de bueiros ou galerias.

IPT (1990 in IPT 1991) esclarece que:

Este tipo de obra apresenta, geralmente, elevada vulnerabilidade a eventos de obstrução. Durante um período de chuva intensa, a obstrução de um bueiro, ou galeria, traz na maioria dos casos, consequências danosas como recalques ou ruptura parcial ou total do aterro.

A obstrução de bueiros, e galerias pode ocorrer de varias maneiras, estando geralmente associadas a materiais carreados pelas enxurradas (pedaços de árvores, troncos galhos), produtos da erosão ou de escorregamentos a montante. Os materiais de maiores dimensões são carreados pelas águas e ficam retidos dentro ou na entrada do bueiro ou galeria, permitindo o rápido assoreamento a montante por materiais de menores dimensões e pelo solo carreado, tamponando estas obras de drenagem.

Uma das situações de maior gravidade é aquela em que a travessia dos talvegues é feita por aterros, sem que se permita a passagem da água por bueiros e galerias, pois neste caso o seu represamento é inevitável.

- Queda e rolamento de blocos

A queda de blocos caracteriza-se por movimentos rápidos, geralmente em queda livre, mobilizando volumes de rocha relativamente pequenos. Este processo está associado a encostas rochosas abruptas, ou taludes de corte em rocha sã ou pouco alterada.

Este fenômeno pode se dar em duas situações: Na primeira as causas básicas são as descontinuidades do maciço rochoso (xistosidades, etc), que propiciam o isolamento de blocos unitários de rocha, a pressão através do acúmulo de água nestas descontinuidades ou a penetração e ou crescimento de raízes nas mesmas.

A ocorrência destes fenômenos é generalizada em cortes de rocha, onde o fraturamento do maciço é desfavorável à estabilidade. Sua consequência pode ser grave, pois os blocos podem atingir a pista com

facilidade. Quando o fraturamento do maciço é intenso, pode-se ter a ocorrência de fragmentos maiores aproximadamente de 10 a 30 cm, neste caso com consequências de menor gravidade.

A segunda situação de queda de blocos ocorre em rochas sedimentares quando camadas de arenito, siltito e argilito estão intercaladas. Neste caso as camadas de siltito e argilito sofrem o fenômeno de desagregação, provocando o descalçamento dos blocos de arenitos da camada superior. As consequências deste fenômeno podem ser graves, pois originam blocos de grandes dimensões (1 a 2 m<sup>3</sup>), que freqüentemente atingem a pista.

Este processo é comum em áreas de rochas graníticas, que originam blocos de rocha sã (matação), isolados e expostos em superfície. Ocorrem naturalmente em encostas quando processos erosivos ou pequenos escorregamentos removem o apoio de sua base condicionando o movimento de rolamento. Podem ocorrer também em cortes que contenham blocos envolvidos por uma matriz de solo associado à erosão e escorregamento de taludes, descalçando a base dos blocos.

### **3.6. Métodos de caracterização e gerenciamento de instabilizações em taludes rodoviários**

Muitas técnicas sistemáticas e tecnologias vêm sendo propostas e utilizadas para tentar gerenciar os inúmeros problemas que ocorrem associados às rodovias, seja na faixa de domínio ou nos entornos das mesmas.

Garibaldi (2004), afirma que:

Nos últimos anos, seja por exigências dos organismos financiadores internacionais, seja por iniciativa no DER, vários estudos têm sido realizados, voltados à resolução e recuperação dos passivos ambientais acumulados na construção, operação, e conservação das redes rodoviárias e os mesmos vêm sendo utilizados para subsidiar o gerenciamento ambiental de rodovias.

Garibaldi (2004) enfatiza as metodologias técnicas e sistemáticas relacionadas à gestão ambiental de rodovias, em relação à gestão de áreas degradadas por movimentos gravitacionais de massa.

A seguir são descritos alguns estudos de caso utilizando diferentes métodos de caracterização e gerenciamento de instabilizações em taludes rodoviários.

- Alvarenga (1977)

Alvarenga (1977) observou os problemas específicos na área por ele estudada como também descreveu alguns problemas que deflagravam a instabilidade dos taludes de corte da região da BR 277 (Estado do Paraná). Os problemas, já identificados, foram então por ele analisados e cadastrados.

Para tal registraram-se os seguintes parâmetros: *geometria do talude*, (valores médios de altura, comprimento e ângulo de inclinação), as *zonas de perfil de alteração atingidas pelos cortes*, os *problemas de estabilidade de cada zona*, as *condições superficiais* e as *possíveis deficiências de projeto e/ ou execução*.

O autor primeiramente tratou de todos os problemas relacionados à erosão na área estudada, se definido o perfil de alteração da mesma e o comportamento de seus horizontes frente a fatores como água de escoamento superficial, grau de suscetibilidade à erosão, coesão, etc. Posteriormente o autor passou a entender os mecanismos e tipos de deslizamentos associados, baseado nas informações anteriores dadas pelo entendimento dos perfis de alteração. Então, constatou que nos locais onde existiam taludes de pequena altura (até no máximo de 20 metros), na área estudada, não havia a ocorrência de deslizamentos profundos em alguns dos taludes que compunham estas áreas (sendo que os mesmos se encontravam preferencialmente nas zonas de intemperismo denominadas pelo autor de IA e IB, ou seja, zona de solos com textura areno-argilosa caracterizado pela lixiviação dos produtos de intemperização e com alta porosidade, (IA) e, zonas com texturas semelhantes a lamas com tendência de concentração de material argiloso). Porém o autor constatou a ocorrência de deslizamentos superficiais nestas mesmas zonas. Por outro lado, em taludes de maior altura (de 30 a 60 metros), principalmente em trechos de serra, o autor cadastrou problemas associados à erosão e instabilização devida a heranças estruturais da rocha.

Estas estruturas são verdadeiros planos de fraqueza e de percolação e/ou acumulação preferencial de água, causando deslizamentos em períodos chuvosos. Por isto, neste contexto, há uma limitação da utilização dos métodos convencionais (análíticos) de análise de estabilidade de taludes, pois os processos de sondagens utilizados em solos dificilmente, na época, detectavam estruturas da rocha de origem, a não ser quando estes se utilizavam de técnicas mais sofisticadas, que na época, nem sempre eram justificadas, na relação custo/benefício da obra. O autor compartimentou a área, então, nos locais abrangidos pelos solos residuais, denominando de I, II, e III.

Finalmente, o autor constata que existem problemas de estabilidade relacionados aos materiais envolvidos, são intrínsecos aos mesmos, ou seja, são enganos do projeto ou má execução dos taludes. Os mais evidentes são: deficiências na rede de drenagem, tanto interna quanto externa, ausência ou má distribuição de banqueteamento e falta de revestimento superficial. Com relação à drenagem interna, o autor diz que não foi encontrada em nenhum dos taludes por ele observados, complementando que a sua utilização poderia evitar muitos dos problemas de instabilidade cadastrados. Quanto à drenagem superficial, a situação encontrada era de que quase todas as canaletas de crista, não eram revestidas, propiciando-se, assim uma maior infiltração de água, desenvolvendo-se localmente a erosão. O autor conclui dizendo que a maior deficiência do projeto da rodovia estudada é a falta de revestimento de superfície de taludes, fornecendo como solução para este problema, a otimização do emprego de revestimento vegetal para proteção contra a erosão superficial.

- Fernandes *et al.* (1981)

Outro caso foi o estudo geológico-geotécnico para estabilização de taludes de corte na BR-277, na região de Serra da Esperança, Estado do Paraná. Neste caso, ao contrário da área estudada por Alvarenga (1977) (BR-277 – Estado do Paraná), o material sobre o qual foram realizados os taludes de corte analisados eram os arenitos da Formação Botucatu, os basaltos da Formação Serra Geral discordantes ao arenito, preenchendo diaclases, e o tálus de cobertura. Os autores (FERNANDES *et al.*, 1981)

utilizam dados obtidos de estudos realizados em 1974 na área, do convênio entre o Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro, e o antigo Departamento Nacional de Estradas de rodagem (atual DNIT). Neste caso, o autor se voltou para mais ensaios laboratoriais de caracterização geotécnica (Limite de liquidez, Limite de plasticidade, etc) do que trabalhos de campo, pois este já se dispunha de dados, ao contrário do trabalho de Alvarenga, op. cit..

- Costa Nunes (1982)

Costa Nunes (1982) apresentou as principais técnicas utilizadas para prevenção de escorregamentos e para correção dos ocorridos na rodovia Rio-Teresópolis, compreendendo: medidas de segurança permanente, medidas de emergência e interrupção de vida.

Costa Nunes (1982) utilizou para a correção e prevenção dos escorregamentos ocorridos, respectivamente, as seguintes técnicas: medidas de segurança permanente, medidas de emergência e interdição da estrada.

As medidas de segurança permanente e medidas de emergência compreendem: taludamento ou suavização, drenagem superficial, drenagem profunda, proteção superficial, estruturas de contenção, estruturas ancoradas e terreno reforçado, estacas e diafragmas, estruturas de impacto, enrocamento e gabiões, terra armada e terra protendida (muitas foram utilizadas na recuperação de taludes na Rio -Teresópolis).

- Pivetti *et al.* (1982)

Segundo Pivetti *et al.*, (1982), devido a constante deterioração dos serviços de manutenção rodo-ferroviária, vultosas verbas são despendidas na restauração de pontos isolados. Para os autores, através do cadastramento, análise, estabelecimento de níveis de segurança, obras adequadas e arquivo, pode-se obter melhores resultados. Assim os autores propuseram uma tecnologia de manutenção, contemplando um manual de manutenção e a implantação de um banco de dados, para futuros tratamentos estatísticos dos eventos.

A tecnologia proposta compreende uma sistematização de procedimentos com um enfoque global baseado na observação constante dos eventos com caráter preventivo visando uma alocação mais adequada de recursos de maneira a se obter níveis de segurança compatíveis com a operação, ao longo de toda a extensão da via.

Os principais fundamentos da proposta são apresentados a seguir:

a) Cadastramento: constitui-se em atividade fundamental dentro da proposta, por fornecer as informações através das quais um planejamento global adquira consistência diante dos serviços de manutenção. Durante o cadastramento são levantados todos os problemas e infra-estrutura da estrada (estabilidade, sistema de drenagem, proteção superficial, ocorrência de solos rochas, etc.), resultando em um inventário com o diagnóstico geral das condições da via. Através de análise comparativa dos dados levantados e considerando-se todos os demais fatores expostos, os locais serão enquadrados em níveis de segurança. A documentação fotográfica das ocorrências observadas, juntamente com a coleta de dados bibliográficos e eventuais elementos da construção, complementam esta atividade;

b) Sistema de informações: as informações coletadas na fase de cadastramento e posteriormente aquelas coletadas na fase de execução e utilização da obra, serão armazenadas constituindo-se num banco de dados que permitirá o controle permanente da situação da via. Este sistema sendo realimentado freqüentemente permite uma avaliação da eficiência das soluções adotadas e, no futuro, um tratamento estatístico dos problemas,

c) Planejamento global: efetuado pelo conhecimento das condições da via, se definido prioridades para cada local, tratando-os de acordo com as suas necessidades, importância relativa no contexto global e disponibilidade de recursos. Destas análises resultarão fluxos de investimentos, cronogramas das obras além do estabelecimento das rotinas necessárias para a realimentação do sistema.

Com os procedimentos descritos e atualizações de cadastros através de visitas periódicas aos trechos, se estabelece uma manutenção sistematizada, que permite controle eficiente da situação da via pela organização do banco de dados, constantemente atualizado. Todas estas atividades permitirão a elaboração de um Manual de Manutenção além do treinamento técnico de pessoal que sistematizará a conservação da via.

Pivetti et al (1982), fizeram ainda uma analogia entre a aplicação de técnicas de Manutenção Convencional e a Nova Tecnologia de Manutenção apresentando as várias deficiências da manutenção convencional e as vantagens da manutenção planejada. Para tal utilizaram-se conceitos de segurança, análise de tratamento de um dado local, condicionantes, tipos de tratamento e tipos de solução.

- IPT (1991)

IPT (1991) realizou um levantamento técnico, no Estado de São Paulo, para detecção de problemas em Taludes de Rodovias, desenvolvendo uma metodologia para a conservação destes taludes, que é constituída de duas etapas distintas: começando-se com o cadastramento e a avaliação da gravidade da situação, a caracterização geológico-geotécnica expedita, passando-se para o diagnóstico dos problemas, a proposição de soluções, a execução de obras de fiscalização, chegando-se à avaliação de desempenho. Com isto se pode, segundo estes autores, detectar e resolver os problemas de instabilização de taludes de forma planejada.

A primeira etapa, ou seja, o cadastramento tem como objetivo fornecer um panorama da situação geral das rodovias (no caso estudado, as que compõem a malha viária de cada Divisão Regional do Estado de São Paulo). Trata-se de um levantamento, segundo os autores, baseado na observação visual dos diversos locais ao longo da rodovia analisada, que apresentem visivelmente indícios de instabilização (processos erosivos, movimentação de massas ou recalques) e que possam apresentar perigo para o tráfego. Estão envolvidos também, neste levantamento, os locais que não se encontram atualmente em situação de risco imediato, mas que, no entanto, são caracterizados pela iminência de ruptura.

Neste processo, os problemas que ocorrem em cada local estudado também serão analisados e agrupados de acordo com a sua ocorrência em cortes e aterros e em função dos processos de instabilização atuantes: erosão, escorregamento, queda e rolamento de blocos, recalque. A presença de água nos taludes também deve ser analisada, pois ela se encontra na origem da maioria dos processos de instabilização dos taludes, sendo assim necessário à verificação de áreas saturadas no talude, indicando a presença de nível d'água ou surgências localizadas, que seriam indícios da existência de caminhos preferenciais para a percolação de água.

Com isto, se passa, para a avaliação da gravidade da situação para o tráfego, de acordo com os seguintes níveis de risco propostos pela metodologia:

- a) Nível 0 : o local encontra-se estabilizado, não oferecendo perigo para o tráfego, ou seja, locais em que já foram realizadas obras,
- b) Nível 1: o problema encontra-se em estágio inicial de evolução, podendo oferecer perigo a longo prazo para o tráfego.
- c) Nível 2: o problema está em evolução, oferecendo perigo a curto e médio prazo para o tráfego.
- d) Nível 3: o problema encontra-se em evolução oferecendo perigo imediato para o tráfego, pois já ocorreu ruptura no talude ou está prestes a ocorrer.

- Silva (1992)

Silva (1992) realizou um estudo de análise de taludes na BR 040, que liga Rio de Janeiro a Juiz de Fora. Foi analisado um talude nesta rodovia, que se encontra no lado esquerdo da mesma, na altura do km 56+ 500, cortando uma encosta na margem esquerda do rio Piabanga, cerca de 1 km ao norte de Itaipava. O autor escolheu este talude pelo fato de apresentar as seguintes características: (a) mecanismo de ruptura do tipo planar como definido por (HOECK; BRAY, 1977), citado anteriormente, (b) presença de juntas de alívio mergulhando na direção da encosta, (c), presença de fendas de tração, indicando juntas de equilíbrio precária, (d) corte do talude que intercepta o plano da junta.

O autor buscou os dados geológicos da região em Penha et al., sendo a região composta por gr-bi gnaisses e gr-hb-bi-gnaisses, de granulação grosseira e com intrusão de veios pegmatóides.

Então se realizou uma compreensão do perfil dos solos residuais existentes nos taludes da região, como também a dos seus horizontes e respectivas espessuras e se fez um cadastro das descontinuidades presentes, compostas, na região, por juntas de alívio, fendas de tração e xistosidade. Diques de leucogranito e veios pegmatóides são encontrados na área de forma não mapeável e sem prejudicar a estabilidade dos taludes da mesma.

Após o levantamento das descontinuidades presentes, o autor concluiu que as juntas de alívio são as descontinuidades principais no caso estudado e que estas constituem o plano de ruptura principal sobre o qual deslizam os blocos. Já os planos de xistosidade e foliação não parecem influir na estabilidade, pois estes apresentam mergulho vertical e subvertical associados a uma elevada resistência ao cisalhamento. A intersecção destas descontinuidades, segundo o autor, formam blocos de rocha soltos no maciço.

Posteriormente a esta fase de cadastramento e análise das estabilidades o autor fez a retroanálise dos blocos mais problemáticos.

- Riedel et al (1995)

Riedel et al (1995), avaliaram os condicionantes estruturais de estabilidade de taludes de corte em horizontes de saprolitos, na área em que compreende a folha de Atibaia – SP na escala de 1:50.000. O trabalho apresentou uma abordagem regional, com dados obtidos por sensoriamento remoto e complementada por trabalhos de campo. O método utilizado visa o estabelecimento de previsões de instabilidades em taludes existentes nas principais estradas da área, bem como cortes futuros, para a realização do trabalho.

Segundo Riedel et al (*op.cit.*), a separação em setores e a análise geométrica permitem verificar que as estruturas geológicas que provocam a individualização dos blocos e erosões nos taludes são juntas e foliações, o que consubstanciou a separação da área em nove setores para a realização das previsões. Foram projetadas nos estereogramas as direções médias atuais das estradas.

Os autores concluíram que as estruturas reliquias são importantes condicionantes na estabilidade em taludes de corte nos horizontes de saprolito e que o estudo destas estruturas é indispensável à compreensão e previsão das instabilidades nestes materiais. O Mapa de Forma Estrutural foi fundamental para a visualização do comportamento da foliação, em toda a região, e consistiu na principal ferramenta para a setorização da área.

Através da setorização, pode-se perceber o modelo geométrico para cada setor, imprescindível aos estudos de estabilidade de taludes, no que concerne ao entendimento dos processos instalados e previsões de futuras instabilidades.

Na proximidade das zonas de cisalhamento devido a uma grande variedade da foliação, a autora adotou um modelo geométrico médio que não consegue satisfazer plenamente as condições observadas em campo, mas que apresenta relativa eficácia.

- DNER (1996)

Esta metodologia foi desenvolvida para o gerenciamento do passivo ambiental em rodovias do Estado do Rio de Janeiro. Ressalta-se que a mesma orientou muitos estudos desta natureza, realizados em demais Estados brasileiros (BELLIA, 1993). As atividades contempladas compreendem: a priorização de intervenções corretivas, método para priorização de intervenções, determinação do IP (Índice de Prioridade) e a classificação de soluções propostas. Os trabalhos iniciam-se pelo conhecimento do conjunto da malha rodoviária e de suas intervenções com o meio. Para tanto foi proposto um quadro, onde estão classificados os tipos de problemas que podem ser encontrados. Assim, todos os problemas que podem ser reconhecidos como passivos, deverão ser objeto de levantamento expedito, com identificação, dimensão aproximada e localização, incluindo no mínimo:

a) identificação de problemas ambientais decorrentes da implantação da rodovia tais como erosão, assoreamento, escorregamentos, inundações, que interfiram ou possam interferir no corpo estradal e em áreas e/ou comunidades lindeiras à faixa de domínio da rodovia;

- b) identificação de antigas áreas de apoio como acampamentos, usinas, pedreiras, jazidas, bota-foras. Verificação da possibilidade de interferência na rodovia e/ou comunidades lindeiras.

Os levantamentos devem ser complementados por relatórios fotográficos, croquis esquemáticos, estimativas dos tipos e quantitativos de serviços - obras necessárias à eliminação ou mitigação dos problemas. Para se conseguir a maior homogeneidade possível nos levantamentos de campo é necessário estabelecer um roteiro e definir critérios para orientação dos técnicos envolvidos no cadastramento das áreas degradadas (DNER, 1996).

A caracterização da rodovia pode ser feita por segmentos (subtrechos homogêneos) onde são considerados parâmetros significativos como: volume de tráfego, estado de conservação e características de interesse antrópico.

- a) *volume de tráfego*: é analisado pelo VDM (volume diário médio) e envolve simultaneamente fatores como importância da rodovia, potencial de desgaste e riscos de acidentes (função da probabilidade direta da quantidade de veículos);
- b) *estado de conservação*: trata-se de uma combinação de condições gerais da via, pista e acostamento, e sistema de drenagem. Este último quadro apresentando falhas no seu funcionamento, representa um dos maiores fatores de risco ambiental nas rodovias em operação.
- c) *características de interesse antrópico*: compreende interesses estratégicos socioeconômicos e risco de dano ambiental. Rocha (1999), com base nos levantamentos dos passivos ambientais de quatro importantes rodovias da região sul do Brasil (BR-116/ PR-LOTE 3; BR – 376 / PR LOTE 6 e 7 BR101-SC, SC 470) apresentou considerações importantes sobre a metodologia do DNER (1996), e a sistemática adotada por eles para o levantamento do passivo ambiental. Segundo o autor, os primeiros trabalhos executados foram basicamente apoiados na metodologia do DNER (1996). Cada área considerada como passivo ambiental foi identificada, localizada e caracterizada segundo as fichas para cadastramento de áreas degradadas as quais se mostraram como elemento de apoio. Entretanto as fichas que configuram a determinação da priorização de intervenções, raramente foram utilizadas e pouco satisfizeram as equipes de campo.

- PACHECO et al. (1997)

Segundo Pacheco et al (1997), as análises convencionais de estabilidade de taludes, métodos determinísticos clássicos, são, em geral, limitadas para a avaliação global da segurança dos usuários de uma rodovia, pois inviabilizam um estudo abrangente de todos os casos sujeitos a instabilizações durante chuvas intensas. Até mesmo as formulações probabilísticas mais usuais revelam-se de menor versatilidade para um tratamento global, já que são igualmente mais recomendadas para avaliações locais.

A avaliação da estabilidade de taludes numa rodovia, com vistas à segurança do usuário e a priorização dos investimentos dos pontos críticos, pode se mostrar uma atividade muito complexa quando há um grande número de pontos críticos a serem avaliados. Assim, os autores propuseram uma formulação subjetiva, lastreada em experiências geotécnicas e implementada através de redes neurais, ao longo de uma rodovia, a priorização dos investimentos nos diversos pontos críticos e o acompanhamento posterior dos taludes (monitoramento ambiental) através do algoritmo *back propagation*.

- ENGECORPS, PLANEG (1997)

Esta metodologia baseia-se no conceito de manutenção planejada, enfocando dois aspectos: sistemática de decisão e sistemática de hierarquização. Nestas etapas, através de análises probabilísticas, se estabelece uma escala de prioridades (hierarquização), a partir de fixação de níveis de confiabilidade, incorporando conceitos de tomada de Decisão (BENJAMIN, CORNEL 1970, RAIFFA 1977, HACHICH 1978, NEME 1981 apud ENGECOPRS PLANEG 1997) Esta metodologia foi aplicada para a definição da hierarquização de 320 pontos críticos cadastrados ao longo da BR-040, trecho Rio de Janeiro – Juiz de fora, atribuindo-se a cada ponto uma nota final obtida a partir da ponderação de duas outras notas, sendo chamada de nota de caracterização. A nota de caracterização reflete os aspectos geotécnicos de cada local estudado, e é obtida a partir de parâmetros que sintetizam de forma qualitativa as características do meio físico. A nota de decisão estabelece o grau de necessidade de manutenção do local estudado.

Os parâmetros de decisão e hierarquização são fundamentados em critérios que consideram a idéia de segurança como variável ao longo do tempo associada a um padrão de comparação que se renova freqüentemente. A utilização de técnicas de decisão e de hierarquização tem como propósito a alocação de recursos em respostas às seguintes questões: Quais locais da via devem ser tratados? Quando restaurá-los? Como executar estas restaurações?

Quais recursos devem ser aplicados? Com qual freqüência restaurar os locais?

Como hierarquizar (estabelecer prioridades) os locais a serem tratados?

- Martinez et al. (1997)

Martinez et al. (1997 *in* MARTINEZ et al., 1999) realizaram um cadastramento dos escorregamentos ocorridos em Fevereiro de 1996, ao longo da rodovia Oswaldo Cruz (SP-125). Para tanto, foi feito um cadastramento sistemático de todas as rupturas ocorridas em taludes de corte ao longo da rodovia e pode-se perceber que existe uma íntima relação entre os tipos litológicos e os tipos de escorregamentos observados. Neste trabalho os autores não levaram em conta os escorregamentos do tipo translacionais superficiais, que estão mais relacionados a condições de saturação superficial do maciço do solo do que ao tipo litológico em si.

Durante a ocorrência de um evento de chuva intensa, após prolongado período de chuvas de menor intensidade. Foram cadastrados 182 escorregamentos, incluindo 35 rupturas de taludes de aterro, 127 rupturas de taludes de corte e 20 erosões em taludes de aterro e de corte. Do total das ocorrências cadastradas (120) se localiza no trecho de serra da rodovia. Vinte e uma se localizam no trecho denominado pré serra e 41 se localizam no trecho denominado, pelos autores, de planalto.

As rupturas translacionais em solo, envolvendo solos maturos e solos saprolíticos de espessura sempre reduzida e, em sua maioria, de pequenas dimensões foram as mais numerosas, principalmente em trechos de serra e pré serra, porém não representaram grandes empecilhos à liberação do tráfego em longo prazo, exceto nos poucos casos em que interceptaram a drenagem superficial desencadeando a erosão de parte da pista.

De modo geral as rupturas de taludes de corte, exceto duas das rupturas em taludes de rocha, apesar de representarem a maioria e de incluírem os escorregamentos que envolveram maior volume de material não foram classificadas como grau de urgência 1.

Como grau de urgência 1 foram definidas as ocorrências que haviam destruído parte significativa da pista de rolamento e 16,7% em taludes de corte. Nos taludes de aterro foram cadastradas: 6 rupturas circulares devido a problemas de fundação ou a subida do nível d'água no corpo de aterro, tendo este funcionado como barragem para bacias formadas pela construção da rodovia; 3 rupturas circulares devidas a erosão do pé do aterro por rios; 3 rupturas circulares envolvendo contenção em “crib wal” (localizadas em trecho de Serra); 8 erosões no ponto de lançamento de tubulações ou em pontos onde superfícies de escorregamentos interceptam a guia sarjeta. Neste caso as rupturas eram em sua maioria translacionais superficiais na saia do aterro porém, ao interceptarem a drenagem da pista possibilitaram verdadeiro desmonte hidráulico que danificou todo o acostamento.

Como taludes de corte classificados em grau de urgência 1 foram cadastrados: 3 escorregamentos translacionais superficiais, sendo que em dois deles ficaram expostos taludes de rocha com blocos instáveis e no terceiro ficou exposto um corpo de colúvio / tálus de matriz argilosa muito susceptível à erosão pela própria chuva e que necessitava de proteção superficial; 1 típica ruptura em rocha envolvendo o deslizamento de lascas ao longo de descontinuidades que mergulhavam para a pista e onde havia a possibilidade de deslizamento de mais blocos.

- Luz, Pimenta (1998)

A metodologia proposta por Luz, Pimenta (1998) comprehende cinco etapas: cadastramento da via, implantação de um banco de dados, sistemática de decisão, sistemática de hierarquização, estabelecimento de soluções padronizadas e elaboração de manuais.

Como as estradas são obras lineares, elas devem ser analisadas pela ponderação de todos os locais deteriorados, o que implica na segurança da via deve ser entendida sob um aspecto relativo. Assim, procura-se substituir o

conceito de segurança absoluta pelo conceito probabilístico, trabalhando-se com níveis de confiabilidade.

Após o cadastramento da via, e a implantação de um banco de dados, tem inicio os processos de análise e tomada de decisão relativos à manutenção dos locais da estrada, que continuam com os estabelecimentos de prioridades (hierarquização dos locais dentro da via, em termos de manutenção e tratamento).

Além disso, as obras de restauração são projetadas visando não a segurança absoluta, mas sim um nível de segurança variável para cada local da via. Desta forma, tem-se como objetivo um nível de segurança ponderado ótimo para a via como um todo, acreditando uma utilização mais adequada e racional dos recursos econômicos.

- Almeida et al (1998)

Segundo Almeida *et al.* (1998), em janeiro de 1996 registrou-se na cidade do Rio de Janeiro uma das mais trágicas seqüências de chuvas de verão dos últimos anos. Neste período foram registradas inúmeras ocorrências de acidentes geológico-geotécnicos em encostas acarretando elevados prejuízos econômicos e várias vitimas fatais. As principais vias de acesso da região como a Estrada de Furnas / Edson Passos, Menezes Cortes (Estrada Grajaú-Jacarepaguá), Av. Niemayer e Estrada Lagoa-Barra ficaram intransitáveis face ao desenvolvimento de uma série de movimentos gravitacionais de massa que acarretaram as suas interdições. Frente a este quadro, Almeida *et al.* (1998) propuseram uma metodologia sistematizando as atividades de campo e de escritório de maneira a permitir a sua aplicação ao levantamento de outras vias. A primeira etapa do trabalho consistiu na coleta de informações já existentes e na observação e análise de fotos aéreas da região em estudo.

Com os dados obtidos, definiram as características geológico-geotécnicas e os critérios de identificação e hierarquização dos riscos geológico-geotécnicos, a serem levantados durante o mapeamento para estabelecer uma ficha guia de campo para que os levantamentos dos pontos

de risco pudessem estar homogeneizados e padronizados. Na ultima etapa de trabalho, foi elaborado e redigido um relatório final apresentando todas as informações coletadas.

Os riscos foram avaliados levando-se em conta a possibilidade de haver movimentos de massa com as possíveis consequências (obstrução da via e danos aos usuários). Foram propostas as seguintes classes de riscos: alto médio e baixo. O risco alto foi interpretado como uma situação de alta suscetibilidade para ocorrer um movimento de massa podendo ter como consequência a perda ou obstrução completa da via ou ainda perigo de vida para os usuários.

- Riedel et al. (1998)

Riedel et al. (1998) realizou um estudo em uma região (Folha de Atibaia) que envolvia trechos das Rodovias Dom Pedro I (SP 065), Rodovia Fernão Dias (BR-381) e Rodovia Edgar Máximo Zambotto (SP-354) e propôs uma metodologia, na qual primeiramente os autores realizaram a retirada de quebras negativas correspondente às foliações em fotografias aéreas na escala de 1:25.000, sendo, então, elaborado um mapa de foliação e lineamentos (mapa estrutural).

Este mapa foi complementado pelos autores em posteriores atividades de campo com o objetivo de obter um mapa final que conteria a distribuição das foliações e que envolvesse toda a área de estudo. Ele foi denominado de mapa estrutural e foi confeccionado de acordo com os critérios de Hasui et al. (1992,1993). As foliações cadastradas pelos autores apresentaram uma grande variação na área de estudo, sendo elas divididas em dois grandes domínios: um com um baixo ângulo de mergulho em uma direção NW e o segundo com uma foliação de alto ângulo de mergulho na direção NE, existindo ainda variação entre as duas na área de estudo. Em cima deste mapa estrutural os autores definiram um mapa de setores da área analisada, isto facilitou, segundo os autores, o entendimento e o manejo dos dados e o acesso mais fácil aos problemas de instabilização existentes.

As direções de foliações existentes foram complementadas com o auxilio de sensoriamento remoto que confirmou as direções medidas em campo. Destas imagens os autores também extraíram feições de quebras negativas.

Com isto realizou a análise das estruturas geológicas e o estabelecimento das geometrias das descontinuidades, a partir do Mapa de Setores, com a divisão da área estudada em sete setores e dos diagramas de rosetas confeccionados. Foram identificadas duas grandes famílias de foliações de direções (N 30-50W e N 30-50 E), que representam a ruptura diedral principal da área.

Para cada um dos sete setores delimitados, foram confeccionados os estereogramas das estruturas geológicas que contém as representações dos planos de foliações de pelo menos duas famílias de juntas ou de foliações. Em cada estereograma foram, também, avaliadas as relações geométricas entre as estruturas como também a possibilidade de ocorrência de instabilidades baseadas em condições previamente identificadas. Foi, ainda, simulada a ocorrência ou não de instabilidade em outra condição, que é a de um talude com uma direção de corte de N45E e com inclinação de 45º.

- Mergulhão (2002)

Mergulhão (2002) realizou um reconhecimento do perfil de intemperismo da região da folha topográfica de Jundiaí e parte da folha topográfica de Atibaia, parte leste do Estado de São Paulo. A rodovia analisada pela autora, Edgard Máximo Zambotto, foi a mesma rodovia que a utilizada por Riedel (1994) em seus estudos, no trecho que liga a cidade de Campo Limpo Paulista à cidade de Jarinu, com taludes de grandes dimensões em toda a sua extensão e com sérios problemas de estabilidade. Segundo a autora, estas condições provocam uma variabilidade de casos de instabilidades. Outro fato considerado pela autora é a existência de trabalhos prévios na região como mapas geológicos, além de trabalhos geológico-geotécnicos.

A metodologia para a realização deste trabalho foi baseada em Riedel (1994) e, consiste primeiramente no reconhecimento do perfil de intemperismo da região, caracterização geológica e levantamento dos dados estruturais com ênfase, neste caso, aos dados de foliação e lineação localizados por toda a área estudada.

Com isto, a autora efetuou um cadastramento das instabilidades observadas nos taludes ao longo do trecho da rodovia SP-354, com uma posterior avaliação das causas e determinação dos horizontes de alteração

onde estes se desenvolvem. Então se efetuou a descrição dos litotipos presentes, como também das atitudes de suas diversas estruturas (foliações, juntas e lineações de estiramento) nos taludes ao longo do trecho da rodovia. A autora teve uma visão mais criteriosa dos tipos de instabilidades ocorrentes na área.

Caracterizaram-se, então, as diversas famílias de fraturas presentes nos taludes quanto à sua persistência e espaçamento. A autora utilizou uma ficha de campo, onde foram anotados os dados de interesse, utilizando também de uma notação Clar nas medidas de foliações e lineações.

Ela confeccionou, no decorrer de todas as etapas descritas anteriormente, um mapa de localização dos taludes estudados, com os traços das formas estruturais (obtido por análise de fotografias aéreas) e a representação da direção de mergulho das foliações medidas, como também a localização dos taludes analisados e estradas. Foram produzidos, neste contexto, diversos estereogramas, que apresentavam a direção do talude a ser analisado, a direção das principais famílias de fraturas, direção preferencial da foliação, as projeções dos pólos e os contornos de isofrequência.

A representação gráfica das instabilidades foi feita através dos critérios de Panet *et al.* (1969), John (1969) Hoeck e Bray (1977), e Goodman (1976 e 1980). Os dois principais critérios utilizados (John 1969 in Riedel 1994), segundo a autora, dão liberdade de movimento em direção à superfície do talude, ou seja, o escorregamento só poderá ocorrer se a superfície do talude possuir inclinação maior do que a dos planos das descontinuidades existentes e que estão envolvidas. O outro critério é aquele onde dois tipos de movimentos são possíveis, o movimento do tipo cunha e o do tipo bloco (planar).

Para análise das famílias de fraturas, a autora utilizou um programa chamado rosácea, desenvolvido pelo IPT e os lineamentos foram extraídos das fotografias aéreas e digitalizados em Software *Auto Cad*. A autora posteriormente montou um mosaico, obtendo, então, todas as fraturas da área analisada, com bastante detalhamento para depois se utilizar de ferramenta de sensoriamento remoto.

A autora fez, também, uma compartimentação da área estudada em setores, delimitados pelas direções de mergulho de foliações e linhas de forma

estrutural, que, por sua vez, foram delimitadas nas fotos aéreas. Para cada setor delimitado, a autora levou em consideração, os seguintes atributos: tonalidade, densidade de textura, grau de fraturamento, tipo de encostas, densidade de drenagem, topos, formas de topos e padrão de drenagem. Para a melhor definição das estruturas rúpteis presentes na área a autora utilizou sensoriamento remoto, que apresenta uma boa definição destas estruturas.

Estas estruturas são feições proeminentes e marcantes na área estudada, principalmente as de alto ângulo de mergulho, que, segundo a autora, levam a um intemperismo mais profundo, o que resulta em um realce morfológico mais acentuado (RIEDEL 1994 apud MERGULHÃO 2002).

Finalmente a autora analisou a geometria das descontinuidades em cada um dos setores de análise, juntamente com as observações feitas em campo (em 20 taludes estudados), podendo-se, então, inferir as possíveis instabilizações em cada setor com a simulação de diferentes direções de cortes rodoviários. O objetivo, com a realização deste trabalho, era a caracterização da geologia estrutural regional da área, a análise das instabilidades observadas nos taludes existentes e a caracterização do horizonte de alteração em que ocorrem as instabilidades.

- **Fiori et al. (2003)**

Fiori et al. (2003), realizaram um levantamento das cicatrizes de escorregamento com o auxílio de fotografias áreas na região de Morretes, Estado do Paraná.

Estes levantamentos encontram-se dentro de um contexto de uma proposta de metodologia para posterior determinação de áreas de risco a escorregamento, com realização de cartas temáticas (por exemplo, o Mapa de Índices de Seguranças nas Encostas).

Os autores utilizaram mapas geológicos e geomorfológicos prévios da região. Posteriormente, o autor armazenou os dados levantados em um banco de dados SIG, utilizando o sistema de referência cartográfica UTM.

- **Garibaldi (2004)**

Garibaldi (2004) desenvolveu uma metodologia para a Gestão de Passivos Ambientais Associados a Escorregamentos em Rodovias, com aplicação na SP- 55, rodovia Rio-Santos.

A sistemática foi desenvolvida apoiando-se nos fundamentos de Cartografia Geotécnica e da Gestão Ambiental de Rodovias. A pesquisa considerou também a abordagem metodológica proposta para a prevenção de acidentes naturais de origem geológica da UNDRO (1991).

A autora optou por adotar a metodologia de Augusto Filho (1994), para a elaboração da carta de riscos a escorregamentos, com adaptações para rodovias. Isto se deu, principalmente, devido à metodologia ter sua estrutura de investigação apoiada na compreensão ampla dos agentes condicionantes, tipologia e dinâmica dos escorregamentos, bem como, nas atividades de redução de desastres naturais de origem geológica.

O método proposto abrange as seguintes fases principais:

a) fase de inventário:

Levantamento e tratamento dos dados já existentes, levantamentos expeditos de campo, identificação preliminar de escorregamentos e dos passivos ambientais.

b) identificação preliminar dos escorregamentos e dos passivos ambientais:

Nesta etapa a autora definiu, de forma preliminar, os modelos fenomenológicos dos escorregamentos mais característicos da área de estudo. Nomearam-se os grupos de processos, de acordo com a classificação de Cruden, Varnes (1996) que tende a simplificar a classificação dos movimentos gravitacionais de massa, indicando cinco tipos básicos que podem ser enquadrados.

As características da ocupação existente no entorno da rodovia, bem como a identificação dos setores com presença de vegetação e tipos de taludes, completaram o grupo de parâmetros relacionados para a elaboração da Carta de Risco de Escorregamentos e posterior discussão da gestão de passivos ambientais.

c) definição das unidades de análise e condicionantes/ atributos:

Tendo-se em conta os modelos fenomenológicos preliminares, são definidas as unidades de análise condicionantes e atributos para elaboração da Carta de Riscos de Escorregamentos (AUGUSTO FILHO, 1994). Além dos condicionantes e atributos naturais, houve a necessidade de investigar outros parâmetros diretamente relacionados com os taludes e com a rodovia. A área resultante foi dividida em subtrechos para serem analisados quanto aos graus de riscos a escorregamentos.

d) trabalhos de cartografia, fotointerpretação, cadastro de escorregamentos passivos ambientais e elaboração dos mapas temáticos:

Envolve a elaboração dos mapas temáticos com as unidades geológico-geotécnicas, declividades, presença de escorregamentos, classes de uso e ocupação, etc. Estes mapas são confeccionados a partir da compilação de mapas e bases pré-existentes, cadastros de escorregamentos, aplicação da cartografia digital e foto interpretação e pelos levantamentos sistemáticos de campo. O cadastro dos escorregamentos e dos passivos ambientais comprehende a elaboração de um banco de dados, com diferentes parâmetros dos escorregamentos ocorridos e levantados em campo, utilizando-se de uma ficha para orientar a coleta de informações.

Apoiando-se a metodologia de Augusto Filho (1994), a autora elaborou seguintes mapas temáticos: base principais unidades geológico-geotécnicas, principais unidade geomorfológicas e declividade, uso e ocupação do solo, cicatrizes de escorregamentos, mapas de bacias hidrográficas. Elaborou-se um inventário de passivos ambientais, contemplando quadros com a localização e a caracterização dos pontos, taludes e escorregamentos levantados nos trabalhos sistemáticos de campo.

e) fase de análise

Esta fase envolve o tratamento e análise dos dados e condicionantes/ atributos levantados nos trabalhos de investigação, visando ao zoneamento quanto à suscetibilidade e tipologia dos escorregamentos, caracterização do uso e ocupação quanto aos danos sociais e econômicos para a população

situada nos arredores da rodovia e aos usuários da mesma, quando da decorrência de escorregamentos.

f) análise dos condicionantes e atributos

Os conhecimentos dos condicionantes geológicos, geomorfológicos e geotécnicos da evolução de uma determinada encosta ou de um conjunto de encostas são fundamentais para o entendimento dos tipos de escorregamentos existentes, nesta etapa da metodologia proposta.

Para tanto, a autora sugere utilizar a classificação de províncias geomorfológicas segundo Monteiro, Cortes (1989) para depois se realizar um zoneamento regional de riscos a escorregamentos.

Dos principais tipos de escorregamentos verificados efetua-se, finalmente, a reavaliação dos modelos fenomenológicos, através do cruzamento e análise dos dados levantados na fase de investigação. Assim é possível, então, se definir os condicionantes/atributos para serem utilizados na delimitação das diferentes zonas de suscetibilidade a escorregamentos. A retroanálise de eventos/ acidentes serve como balizador dos diferentes graus de suscetibilidade e para identificação espacial dos mesmos.

- Cruchet, Nedellec (2005)

Na bibliografia internacional, Cruchet, Nedellec (2005), estudando as rodovias da região do Cirque de Salazie, Ilha da Reunião, na França, fez um inventário de instabilidades já conhecidas à direita de duas Rodovias Federais e nas suas proximidades. Foram registradas trezentas instabilidades no local, que estavam relacionadas, segundo o autor, a taludes de cortes extensos, conduzindo a problemas de parte logística e de atividade econômica na região. Para a realização deste inventário, o autor fez uma revisão dos documentos disponíveis nos órgãos franceses (BGRM - Bureau de Recherches Géologiques et Minières - Departamento de Pesquisas Geológicas e de Mineração), DDE (Direction Départementale D'Équipement - Direção Departamental de Equipamentos) e de Fotografias aéreas, permitindo uma melhor compreensão dos fenômenos que ocorrem no local e seus mecanismos associados, aos quais as rodovias encontram-se expostas e a identificação das zonas mais afetadas por eles (Figura2).

Em uma segunda etapa do estudo, foram cadastradas com maior atenção as instabilidades ocorridas dentro da região do Cirque de Salazie, que se destacam mais pelo volume ( $m^3$ ) do que pela freqüência de ocorrência. Um exemplo disto, mostrado pelo autor, é a denominada RD 48 que é ameaçada por um escorregamento maior ativo, de aproximadamente 100 milhões de  $m^3$  e na qual, ocorrem deslocamentos de mais de 20 cm por ano, que são medidos localmente.

O autor dividiu a área estudada em partes homogêneas, com relação à sua geologia, geomorfologia e hidrogeologia, e a localização da posição do pé da vertente estudada. Esta etapa, baseada em levantamentos topográficos e tomadas de fotografias em sobrevôos de helicóptero (Figura 3), permitiu, a partir de critérios pertinentes para o autor, a identificação da natureza, intensidade e certa medida de probabilidade de ocorrência das instabilidades a que aquela parte da rodovia encontrava-se exposta. É salientado pelo autor que a compreensão geológica das vertentes é muito importante, dentro deste tipo de estudo.

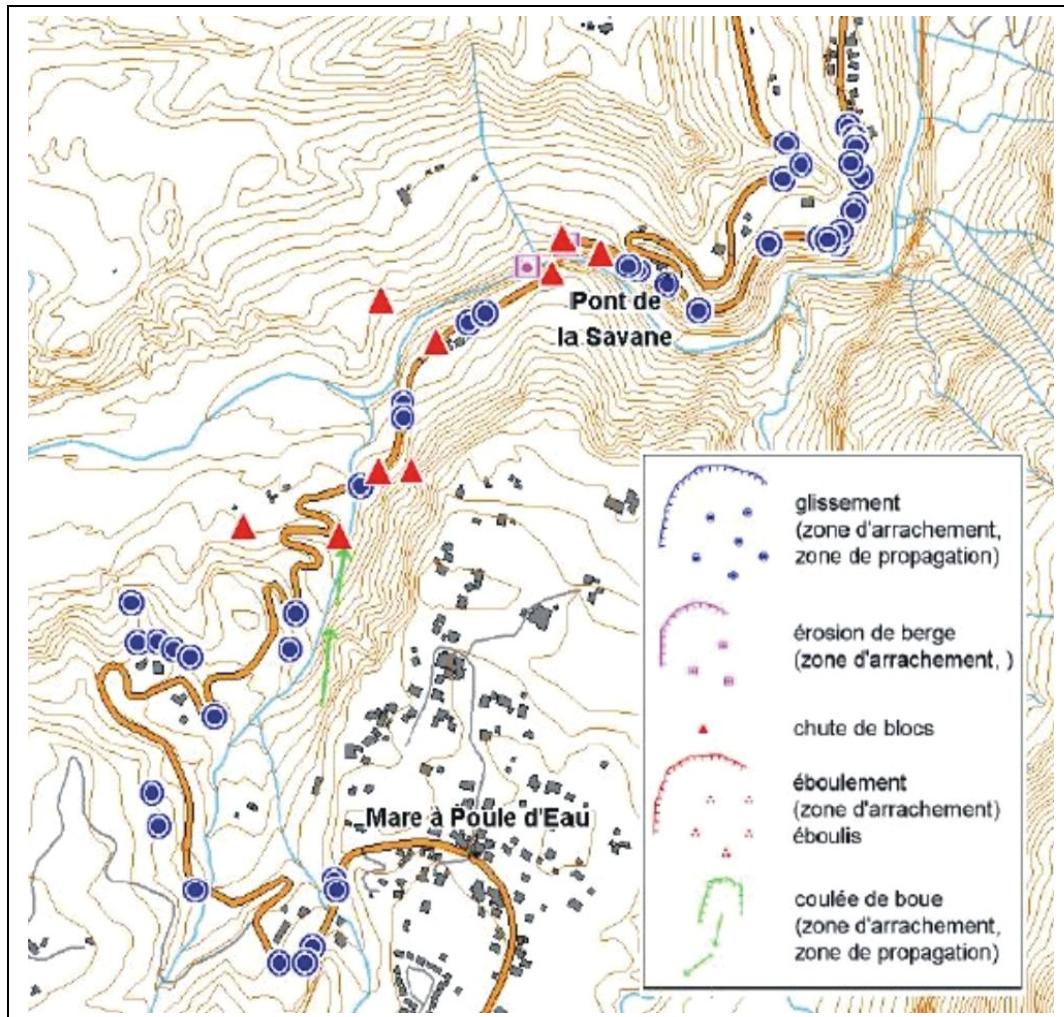


Figura 2: Carta de inventários dos fenômenos estudados na região (Cruchet, Nedellec 2005)

Este inventário foi completado com análises de terreno, permitindo a realização de uma carta com 44 áreas homogêneas (Figura 4). Esta carta foi confeccionada pelo autor na escala de 1:10.000, e definiu as áreas de exposição extrema nas duas rodovias estudadas se chegando, então, aos seguintes resultados: Quedas de blocos e escorregamentos – 24 Km; Setores diretamente expostos, deslizamentos – 29 Km; Corridas de lama – 12 km; Erosões de bermas – 6km, sendo que 16 km das duas rodovias são expostos diretamente à fenômenos maiores.

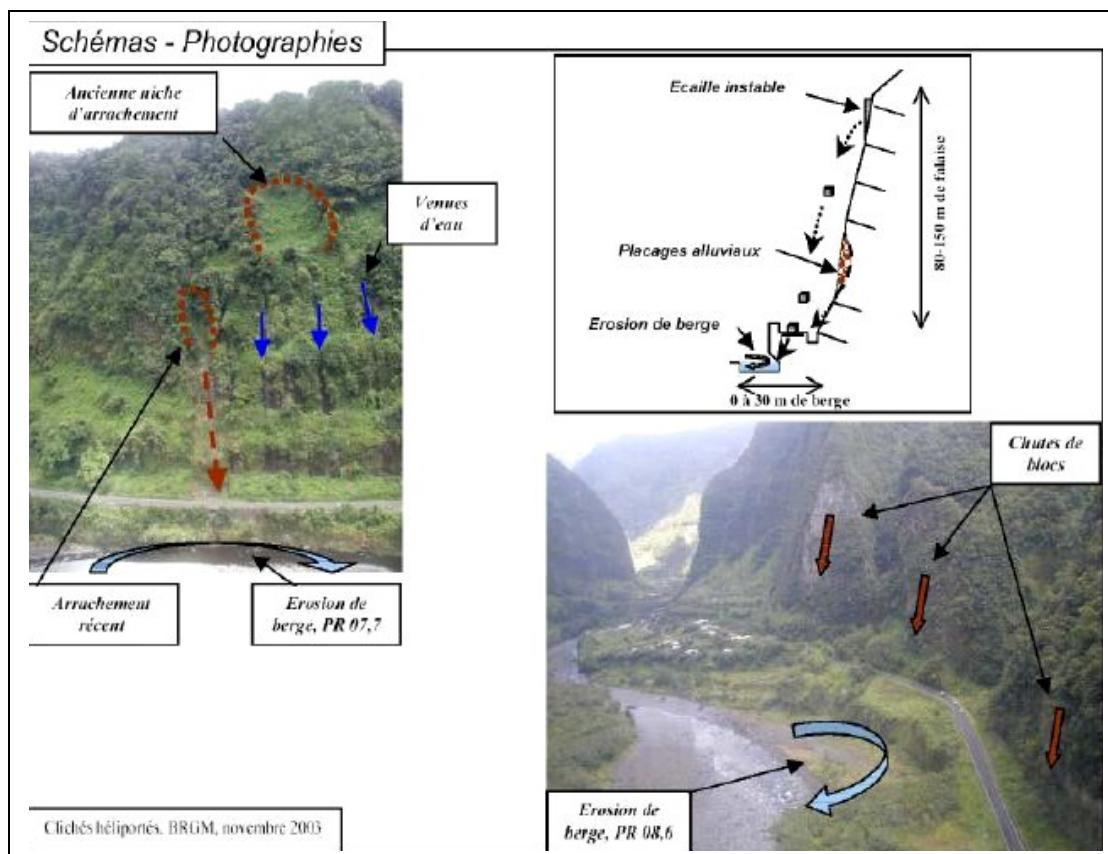


Figura 3: Visadas aéreas de uma área homogênea da região do Cirque Salazie (França – Cruchet e Nedellec 2005)

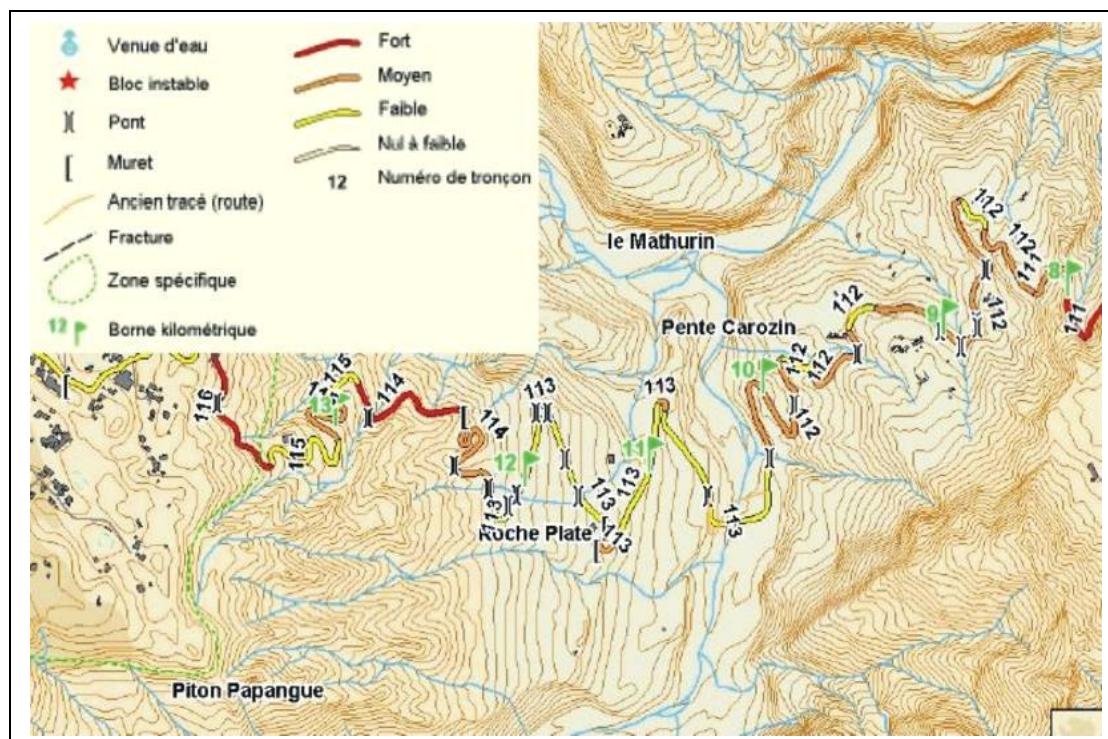


Figura 4: Carta de inventário de estabilidade demarcando zonas com ocorrência escorregamento: forte (vermelho), média (laranja), fraca (amarelo) e fraca a nula (branco)  
Fonte: Cruchet e Nedellec, 2005.

### 3.7. Cartografia digital e SIG

Nesta parte da Fundamentação Teórica cabe ressaltar alguns aspectos referentes à Cartografia Digital (onde foi utilizado o programa *Autocad Map*) e de SIG (programa *Arcview 3.2a*), assim como aspectos referentes ao programa *Estereonet*, utilizado para o tratamento de dados de famílias de Fraturas e foliações.

- **Programa Autocad Map**

Um sistema *CAD* (projeto auxiliado por computador) é uma ferramenta para capturar dados analógicos em formato legível por máquina. Os modelos de *CAD* tratam os dados como desenhos eletrônicos em coordenadas do papel. Nas aplicações de *CAD*, existem muitas vezes regularidades nos objetos (como sólidos de revolução), que podem ser modeladas com o uso de técnicas como *CSG* (geometria construtiva de sólidos). Por contraste, num sistema de Geoprocessamento os dados têm poucas simetrias e regularidades que podem ser reproduzidas. (MORETTI, 2000)

O programa *Autocad Map* encontra-se associado ao programa Autocad R14 e apresenta uma grande vantagem em relação aos outros programas Autocad, pois ele georreferencia verdadeiramente a imagem raster, dando a opção de fazer o georreferenciamento em pontos. A figura a seguir apresenta a Interface gráfica de arquivos em *Autocad Map R14* (Figura 5).

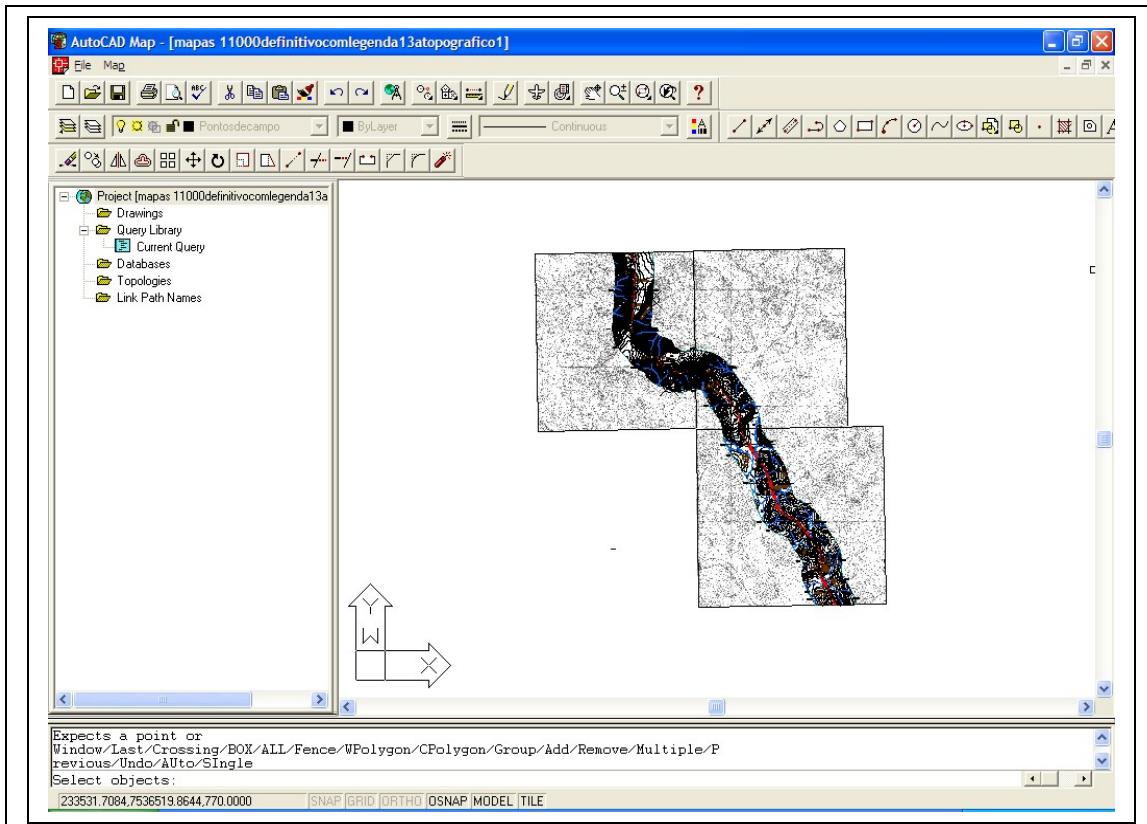


Figura 5 : Interface gráfica de arquivos em Autocad Map R14 (LOPES, AUGUSTO FILHO, 2007).

- **Programa Arcview 3.2a**

O programa *Arcview 3.2a* foi criado pela empresa americana ESRI no inicio da década de 90 com o objetivo de espalhar nas organizações (como por exemplo, centros de pesquisa) o uso de dados geográficos que antes eram obtidos e restritos a laboratórios bem equipados e caros. Com isto os usuários passaram a acessar os bancos de dados geográficos de seus próprios equipamentos pessoais, podendo gerar consultas, mapas e relatórios que antes precisavam ser encomendados a um centro de processamento de dados.

O programa *Arcview 1* foi um dos pioneiros nesta categoria de software. Comparando-se essa primeira versão com a atual, pode-se notar uma grande evolução na capacidade de processamento deste *software*, transformando-se hoje em um *software* completo para geoprocessamento. (MORETTI, 2000).

Atualmente o *software* possui diversas funções como, por exemplo, edição de dados tabulares, geração de mapas de alta qualidade, conexão com banco de dados, digitalização de dados vetoriais na tela ou em mesa digitalizadora, geração de análises espaciais com dados vetoriais e *raster*,

processamento de imagens de satélite, leitura direta de dados CAD, entre outras. O *Arcview 3.2a* atualmente faz parte, de uma família de programas também desenvolvidos pela ESRI, da qual se destaca o software *Arcinfo*, cujas características e funções atualmente são superiores ao *Arcview 3.2a*.

Em sistema de maior porte o *Arcinfo* geralmente é utilizado nas funções de entrada, conversão, gerenciamento e análise de dados, sendo complementado pelo *Arcview 3.2a*. Entretanto, o *Arcview 3.2a* supre a necessidade dos usuários finais em diferentes níveis de complexidade, sendo a sua porta de entrada nos Sistemas de Informação Geográfica. (MORETTI (2000))

Uma outra característica importante do *Arcview 3.2a* é a sua **modularidade**, ou seja, a partir de um núcleo principal (*Arcview 3.2a* básico), é possível a adição de módulos específicos (chamados de extensões) com novas funções. O usuário personaliza o seu software, escolhendo as extensões necessárias ao tipo de trabalho desenvolvido.

MORETTI (*op cit*) explica que dentre as principais extensões fornecidas pela ESRI podemos destacar a análise espacial (para o processamento de dados no formato *raster*), análise 3D (para a geração, visualização e análise de modelos tridimensionais), análise de imagens (para processamento e análise das imagens de satélite) e análise de redes (para o processamento de redes geográficas).

Os objetos do mundo real, enquanto naturais ou feitos pelo homem, são denominados feições quando eles são representados sobre um mapa. Cada feição do mapa tem uma localização, forma e símbolo que representa uma ou mais de suas características. As feições podem ser pontos, linhas ou polígonos.

- *Escolas, sinaleiros de trâfego, localização de crimes e postes*, são exemplo de feições pontuais. Pontos representam objetos que possuem localização discreta e são pequenos demais para serem detectados como áreas.
- *Rodovias, ruas, tubulações e cursos d'água* são exemplos de feições lineares. Linhas representam objetos que possuem comprimento, mas são estreitos demais para serem detectados como áreas.

- *Parques, setores censitários, áreas postais e áreas comerciais* são exemplos de feições poligonais (ou de área). Polígonos representam objetos grandes demais para serem detectados como pontos ou linhas.

No *Arcview 3.2a*, as feições são armazenadas numa base de dados em conjunto com as suas informações que as descrevem.

As informações descritivas armazenadas com a feição são denominadas de *atributos* da feição. Os atributos de uma rua podem incluir seu nome, tipo de rua, comprimento, código da rua, número de pistas, tipo de pavimento. Os atributos de um parque podem ser seu nome, área, horas de operação e agenda de manutenção. O usuário pode facilmente acessar os atributos para qualquer feição ou localizar qualquer feição a partir dos seus atributos, porque as feições e seus atributos estão ligados. Atributos são apresentados num documento de *Arcview 3.2a* como uma planilha denominada *Tabela (Table)*.

No programa *Arcview 3.2a*, uma vista é o principal documento sendo utilizada na consulta de dados geográficos, na análise espacial e preparação de conteúdo de mapas para impressão. A interface gráfica de documentos do tipo vista é uma janela dividida em duas partes sendo a da esquerda destinada ao gerenciamento da visualização dos temas e a da direita destinada à visualização dos temas propriamente ditos. Uma vista contém uma área de apresentação de mapa e uma tabela de conteúdos ou legenda. As tabelas apresentam registros como linhas e campo e colunas. Os gráficos apresentam graficamente dados tabulares e estão integrados com tabelas e vistas. O *Arcview 3.2a* importa seis tipos de gráficos: área, barra, coluna, linha, pizza e x,y scatter.

Um tema é o conjunto de dados selecionados e preparados para a visualização segundo determinada regras e simbologias, ou seja, ele é uma coleção de feições com atributos similares, como rodovias, lotes, poços, por exemplo. Quando se trabalha com *Arcview 3.2a*, se trabalha com arquivos de projetos identificados por uma extensão.apr. Os projetos armazenam e organizam informações em cinco tipos de documentos: *Vistas (Views)*, *Tabelas (Tables)*, *Gráficos (Charts)*, *Layouts* e *Editores de Script (Script Editors)*. Cada tipo de documento apresenta os dados de forma distinta e permite que o usuário interaja com os dados de formas distintas (Figura 6).

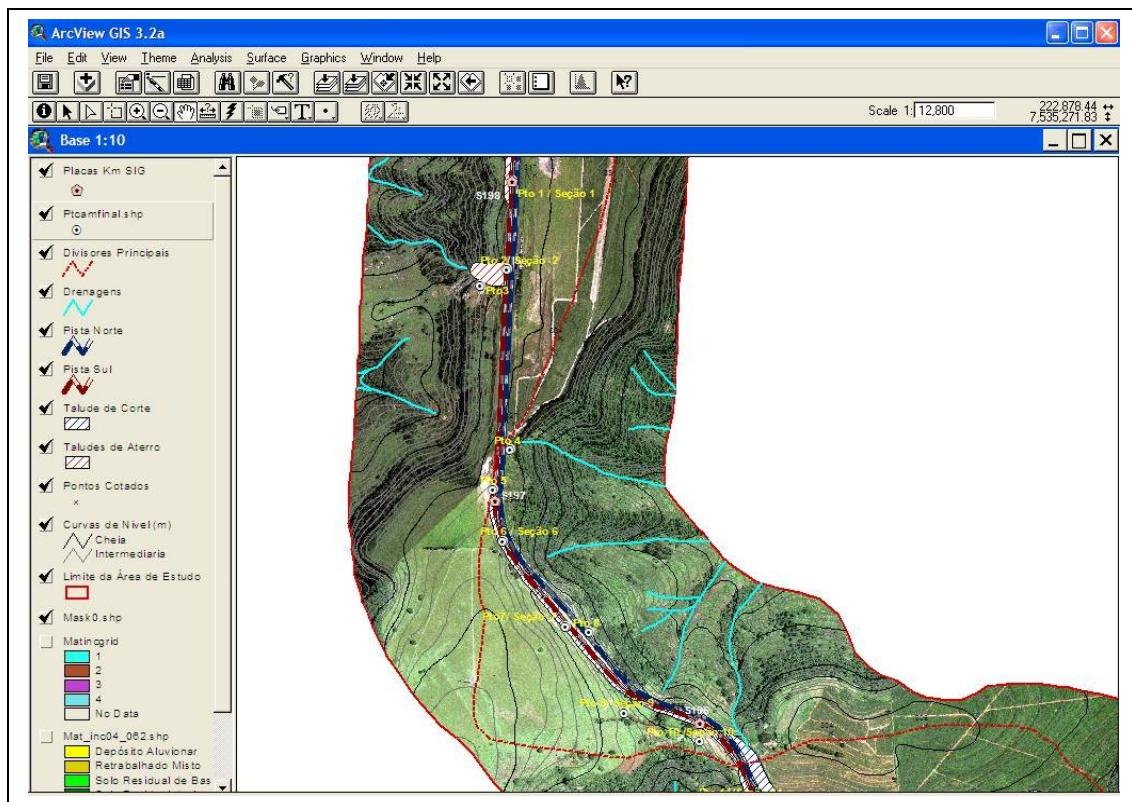


Figura 6 : Interface gráfica de documentos tipo Vista em Arcview 3.2 a, a partir das fotografias aéreas a escala de 1:5.000 da Centroviás (2005). (LOPES, AUGUSTO FILHO 2007).

Os *Layouts* são documentos sobre os quais o usuário organiza vistas, tabelas, gráficos e imagens. Eles também podem conter setas indicativas do norte, barra de escala gráfica e legendas. Os *layouts* são frequentemente o principal produto de um projeto SIG - eles são mapas que apresentam os resultados de suas análises. Os editores de *script* são usados para carregar, escrever, editar, compilar e executar programas em *Avenue* (chamados *scripts*). *Avenue* é a linguagem de programação do *Arcview 3.2a*.

Os dados são a parte mais importante do projeto. Existem três categorias importantes de dados espaciais que o usuário pode usar no *Arcview 3.2a*: fonte de dados de feição, fonte de dados de imagem e fontes de dados do ARC/INFO GRID. O *Shapefile* é o formato de arquivos de feições geográficas e dados de atributos do *Arcview 3.2a*. Os *Shapefiles* são exibidos de forma mais rápida do que outras fontes de dados e são editáveis. Outra fonte de dados que o *Arcview 3.2a* suporta são as *coverages* do ARC/INFO, que podem ser convertidas para *shapefiles* e depois editadas. (ROSA, 2004).

O *Arcview 3.2a* suporta os seguintes formatos de arquivos de imagem: TIFF, TIFF/LZW, ERDAS, BSQ, BIL, BIP, RLC, e Sun. As fontes de dados de

imagem incluem imagens de satélite, fotografias aéreas digitais e mapas escanerizados. Temas de imagem não possuem tabelas de atributos e não podem ser editados no *Arcview 3.2a* (entretanto, o usuário pode modificar sua apresentação com o Editor de Legenda da imagem).

O programa *Arcview* também permite que se faça um “*link*” entre uma tabela de atributos e uma figura ou foto. Esta ferramenta é chamada de *Hot link* e para utilizá-la, o usuário deve primeiramente criar uma coluna onde será colocado o caminho do arquivo (da foto ou figura) no computador. Posteriormente, é necessário ativar a ferramenta hot link no menu *Properties*. O usuário deve escolher então *link to a image*, neste menu. (ESRI, 2007)

O usuário pode agrupar feições em classes baseadas em algum atributo da tabela do tema. O método de classificação padrão usado pelo *Arcview 3.2a* usa o método Interrupções Naturais (*Natural Breaks*), mas se pode escolher outra forma de classificar seus dados, como Área Equivalente (*Equal Área*), Intervalos Equivalentes (*Equal Interval*), Desvio Padrão (*Standard Desviation*), ou Quantitativos (*Quantile*). O método e o número de classes que o usuário especifica afetam a forma que os temas serão exibidos, e como seus dados são interpretados. Antes de escolher um método de classificação, o usuário deverá considerar cuidadosamente seus dados para garantir que será aplicado o método mais apropriado (MORETTI, 2000).

Rótulos, Legendas (*Labels*) ajudam as pessoas que irão ler os mapas a identificar as feições. O Usuário pode gerar um identificador de cada vez com a ferramenta de identificação, ou gerá-los automaticamente com a função auto-identificar. Existem alguns estilos de identificação dentre os quais ele poderá escolher.

Uma característica básica e geral num SIG é sua capacidade de tratar as relações espaciais entre os objetos geográficos. Denota-se por topologia a estrutura de relacionamentos espaciais (vizinhança, proximidade, pertinência) que podem se estabelecer entre objetos geográficos. Armazenar a topologia de um mapa é uma das características básicas que fazem um SIG se distinguir de um sistema *CAD*. Em grande parte das aplicações de *CAD*, os desenhos não possuem atributos descritivos, mas apenas propriedades gráficas (como cor e espessura). Já em Geoprocessamento, os dados geográficos possuem atributos, o que torna necessário prover os meios de consultar, atualizar e

manusear um banco de dados espaciais. Muitos problemas no uso destas ferramentas decorrem do fato de que, por inexperiência, muitos técnicos utilizam um *CAD* como *SIG*.

O *Arcview 3.2a* se mostra como uma ferramenta apropriada para a realização de estudos de compartimentação de taludes rodoviários de uma área, pois além de gerar mapas de alta qualidade, conforme já dito anteriormente, o *software* permite que a partir dos mesmos e de dados complementares (observações de campo, por exemplo) se faça a divisão da área de estudo em áreas mais críticas em relação a determinadas feições de instabilização, como por exemplo, erosão e escorregamento. Para tanto, o *Software* possui um módulo que permite o cálculo das áreas de interesse dentro de cada carta gerada (como por exemplo, áreas ocupadas por uma determinada formação geológica presente, áreas ocupadas por uma determinada classe de declividade) em relação à área de estudo total. Isto permite uma posterior interpretação e cruzamento entre estas informações, podendo-se dizer quais áreas, dentro da área total de estudo, apresentam determinadas características que favoreçam a ocorrência de feições de erosão e escorregamento. Isto é de muita valia para as empresas responsáveis pela manutenção da rodovia, pois com estes produtos em mãos elas poderão direcionar as obras de estabilização da rodovia às áreas mais críticas, e prever as áreas que poderão dar problemas futuramente. Este cálculo realizado pelo *Arcview 3.2a* o diferencia de um *software* comum, utilizado somente para georreferenciamento de imagens e digitalização de mapas, que é o caso do *Software Autocad Map*.

- **Programa Stereonet 2.46**

O programa *Stereonet 2.46* foi utilizado no presente trabalho, para a análise dos dados das famílias de fratura coletados na segunda etapa de campo. (TORQUATO, 2000).

Este programa é uma ferramenta para visualizar, modificar e analisar a orientação de dados. O programa *Stereonet 2.46* está apto a executar um grande número de funções, na sua maioria, relacionado com Geologia Estrutural e Cristalografia.

O *Stereonet 2.46* está equipado com três barras de ferramentas de modo a poder executar com mais facilidade todas as suas tarefas: *Barra de Menus*, *Barra de Ferramentas* e *Barra de Status*.

- **Modelo Digital do Terreno (MDT)**

O termo modelo digital do terreno (ou MDT) é utilizado para denotar a representação quantitativa de uma grandeza que varia continuamente no espaço. Comumente associados à altimetria, estes modelos também podem ser utilizados para modelar unidades geológicas, como teor de minerais, ou propriedades do solo ou subsolo, obtidas por métodos geofísicos como o aeromagnetismo.

Entre os usos de modelos numéricos de terreno, pode-se citar (BURROUGH, 1986):

- armazenamento de dados de altimetria para gerar mapas topográficos;
- análises de corte-aterro para projeto de estradas e barragens;
- cômputo de mapas de declividade e exposição para apoio a análises de geomorfologia e erodibilidade;
- análise de variáveis geofísicas e geoquímicas;
- apresentação tridimensional (em combinação com outras variáveis).

Um MDT pode ser definido como um modelo matemático que reproduz uma superfície real a partir de algoritmos e de um conjunto de pontos ( $x, y$ ), em um referencial qualquer, com atributos denotados por  $z$ , que descrevem a variação contínua da superfície.

O processo de aquisição de uma grandeza com variação espacial produz, usualmente, um conjunto de amostras pontuais. A partir destas amostras, pode-se construir dois tipos de representação a grade regular e a triangular.

A *grade regular* é uma representação matricial onde cada elemento da matriz está associado a um valor numérico, como mostra a Figura 7. Para a geração da grade torna-se necessário estimar, através de interpoladores matemáticos, os valores para as células que não possuem medidas de elevação, considerando-se a vizinhança de medidas de elevação conhecidas.

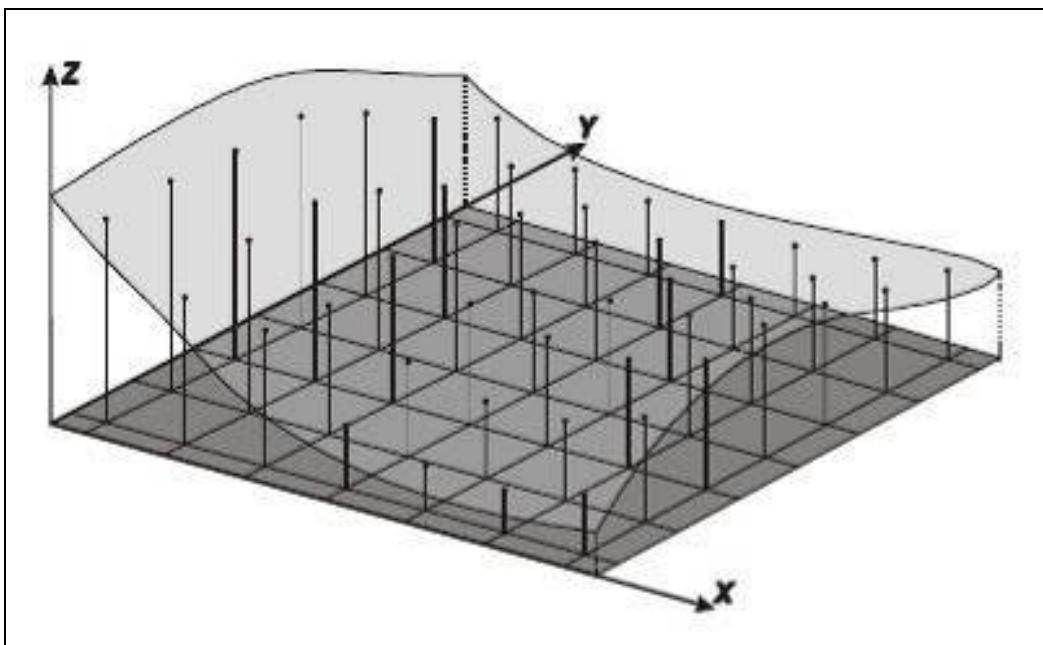


Figura 7: Exemplo de grade retangular (NAMIKAWA, 1995)

Os procedimentos de interpolação para geração de grades regulares a partir de amostras variam de acordo com a grandeza medida. No caso de altimetria, é comum o uso de funções de ponderação por inverso do quadrado da distância. Já para variáveis geofísicas, procedimentos de filtragem bidimensional ou de geoestatística (como a *krigagem*) são utilizados.

A partir destas grades são gerados os diversos produtos, por exemplo, modelos digitais de terreno são convertidos para mapas temáticos e para imagens. Em ambos os casos, a grandeza numérica é quantificada, seja para um número pequeno de valores (caso de mapas temáticos) seja para a variação associada a imagens (valores discretos).

A *grade triangular* ou *TIN* (do inglês *triangular irregular network*) é uma estrutura do tipo vetorial com topologia do tipo *nó-arco* e representa uma superfície através de um conjunto de faces triangulares interligadas. Para cada um dos três vértices da face do triângulo são armazenadas as coordenadas de localização (*x*, *y*) e o atributo *z*, com o valor de elevação ou altitude.

Em geral, nos SIGs que possuem pacotes para MDT, os algoritmos para geração da grade triangular baseiam-se na triangulação de Delaunay com restrição de região. Quanto mais equiláteras forem as faces triangulares, maior a exatidão com que se descreve a superfície. O valor de elevação em qualquer

ponto dentro da superfície pode ser estimado a partir das faces triangulares, utilizando-se interpoladores (Figura 8).

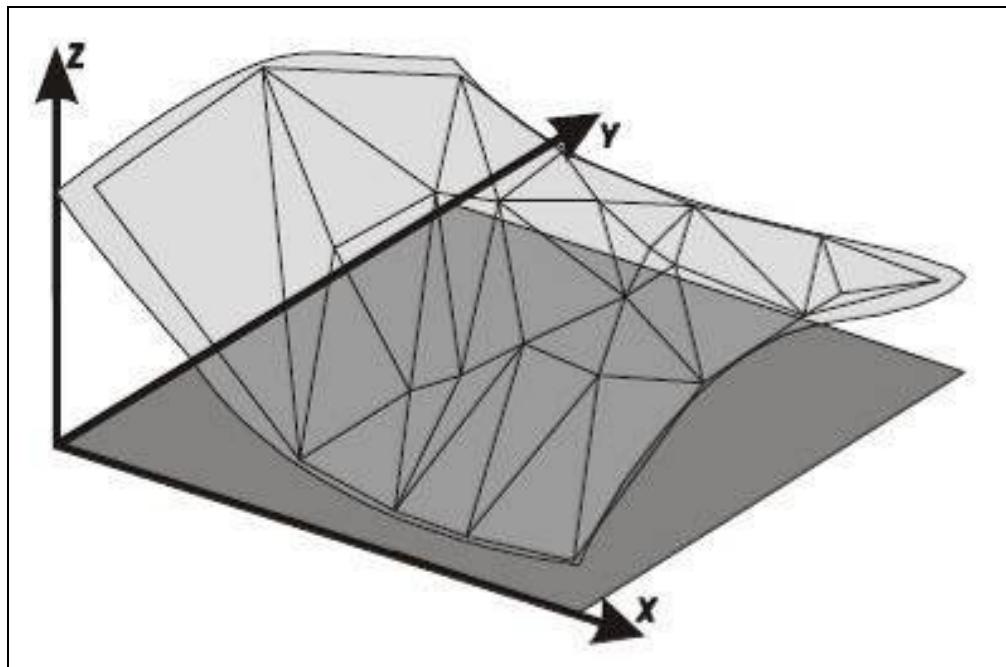


Figura 8: Exemplo de uma grade triangular (NAMIKAWA, 1995)

As malhas triangulares são normalmente melhores para representar a variação do terreno, pois capturam a complexidade do relevo sem a necessidade de grande quantidade de dados redundantes. As grades regulares têm grande redundância em terrenos uniformes e dificuldade de adaptação a relevos de natureza distinta no mesmo mapa, por causa da grade de amostragem fixa. Para o caso de variáveis geofísicas e para operações como visualização 3D, as grades regulares são preferíveis, principalmente pela maior facilidade de manuseio computacional. A Tabela 5 resume as principais vantagens e desvantagens de grades regulares e malhas triangulares.

Tabela 5- Vantagens e desvantagens dos dois tipos de malha de um MDT. (BURROUGH, 1986):

	Malha triangular	Grade regular
Vantagens	1. Melhor representação de relevo complexo 2. Incorporação de restrições como linhas de crista	1. Facilita manuseio e conversão 2. Adequada para geofísica e visualização 3D
Problemas	1. Complexidade de manuseio 2. Inadequada para visualização 3D	1. Representação relevo complexo 2. Cálculo de declividade

### 3.8. Método multi-critérios

Os métodos multi-critérios consistem, em essência, na definição de pesos a atributos e classes de atributos que controlam as feições de instabilização ou outro processo de interesse. Vários autores têm proposto alternativas para métodos desse tipo e a seguir são apresentados alguns deles.

Diniz (2004) utilizou-se de uma técnica de multi-critério por esta possibilitar uma utilização de uma escala de valores em função do grau de significância relativo de cada variável condicionante e atributo envolvidos na análise, podendo-se aplicar o SIG com eficiência. Os condicionantes analisados pela autora apresentavam graus de significância diferentes, bem como os seus atributos, para tanto sendo necessário que os pesos estabelecidos para cada condicionante/atributo pudessem ser diferentes. Para a seleção destes condicionantes e atributos foram necessários estudos de urbanização, de habitação de meio ambiente, sobre empreendimentos habitacionais e da cartográfica geotécnica, onde foi possível por meio do embasamento teórico selecionar os condicionantes e os atributos, bem como a sua classificação.

A autora, então, segue as seguintes etapas: seleção de condicionantes, seleção dos atributos, observações de campo, atribuição de pesos aos condicionantes, atribuição de pesos aos atributos.

Augusto Filho et al (2005), estudando a potencialidade de geração das corridas de massa em trechos serranos do duto OBSAT, fizeram uma análise qualitativa simplificada, para os fatores intervenientes que ocasionam uma corrida de massa. Os autores adotaram um modelo fenomenológico genérico de geração de corridas e fizeram uma análise qualitativa baseada na análise de parâmetros morfométricos da bacia, que são considerados como condicionantes neste modelo por eles adotado. Esta análise tinha como objetivo identificar um grau de criticidade relativo, em relação à deflagração em corridas de massa.

Os principais fatores intervenientes puderam ser agrupados em fatores geomorfológicos, geológicos, climatológicos (pluviometria) e fatores advindos da atividade antrópica.

Quanto aos fatores geomorfológicos, os parâmetros que influenciam são: área total da bacia, área da bacia com declividade superior a 30°, amplitude da bacia, inclinação do canal principal e a forma da bacia (circularidade).

Os autores também afirmam que áreas com declividade acima de 30° são potenciais à geração de escorregamentos e, portanto, fornecedoras de sedimentos para alimentar as corridas de massa. Logo, quanto maior for a porcentagem da área da bacia acima de 30°, mais crítica a bacia é em relação à geração de corridas. A inclinação média dos canais principais e a amplitude das encostas influenciam a perda de energia durante o processo, ou seja, estão associadas ao raio de alcance da corrida. Desse modo, canais de maior inclinação e encostas com maior amplitude mobilizam materiais por maiores distâncias. A forma e o tamanho da bacia também influenciam no tempo de concentração de águas superficiais.

Silveira (2002), com o objetivo da realização da Carta de suscetibilidade à erosão das bacias entre os rios Araraquara e Cubatão, utilizou uma técnica multi-critério onde os pesos eram dados a partir de uma ordenação paritária hierárquica, comparando a importância relativa de cada atributo realizado. Foram utilizados como atributos, a declividade, os materiais inconsolidados o substrato rochoso e as unidades de relevo, sendo que para a determinação dos

pesos às unidades de materiais inconsolidados foram definidos, pelo autor, os critérios de espessura de pacote e textura dos materiais inconsolidados. O autor utilizou uma média aritmética simples após atribuir os pesos aos atributos escolhidos.

## 7. MÉTODO E MATERIAIS

O método científico atual pode ser genericamente descrito através das seguintes etapas principais de investigação: colocação precisa do problema; procura de conhecimentos ou instrumentos relevantes ao problema; tentativa de solução do problema com o auxílio dos meios identificados; criação de novas idéias, hipóteses, teorias ou técnicas; obtenção de uma solução exata ou aproximada; investigação das consequências da solução obtida; comprovação da solução; correção das hipóteses, teorias, ou procedimentos ou dados empregados na investigação (LAKATOS & MARCONI, 1983).

O método empregado neste estudo fundamenta-se nos trabalhos de IPT (1991), de Riedel (1994) e de Garibaldi (2004), tratando da compartimentação de taludes e gerenciamento de problemas em áreas de rodovias.

Estas abordagens anteriores foram complementadas com a inserção da utilização do SIG como ferramenta básica de armazenagem e análise dos dados de interesse, além da utilização de seções geológico-geotécnicas de detalhe, levantadas em campo ao longo do trecho estudado.

A área de estudo para a realização do mapeamento do potencial de instabilização foi definida com uma faixa de 500 metros de cada lado da rodovia ao longo da extensão analisada.

Este critério vem sendo aplicado em trabalhos semelhantes ao presente estudo (Garibaldi 2004) e serve como referência para a definição de Áreas de Influência Direta (AID) em estudos de impacto ambiental no processo de licenciamento de rodovias no Estado de São Paulo.

Adotou-se o termo potencial de instabilização ao invés de suscetibilidade, por este último estar associado, em geral, a estudos de caráter mais regional, não estando diretamente vinculado a uma obra de engenharia

específica, além de tratar individualmente os processos de escorregamento e erosão pluvial.

Para definição do potencial de acidente, estabeleceu-se uma faixa de 50 metros de cada lado da rodovia, que foi considerada a região onde a deflagração de processos de erosão e escorregamento poderia afetar mais diretamente a obra, causando danos imediatos à mesma.

Esta área coincide com a faixa de domínio da rodovia estudada (SP-310). As faixas de domínio, em geral, também são utilizadas como Áreas Diretamente Afetadas (ADA) nos licenciamentos ambientais de rodovias.

Salienta-se que a análise de potencial de acidente tem um caráter qualitativo apenas, sem definição mais precisa quanto às suas probabilidades de ocorrência e magnitudes econômicas associadas (análise de risco propriamente dita).

Com base nos pressupostos gerais acima, foi definido o método da presente pesquisa envolvendo nove etapas principais de trabalho. A figura 9 apresenta o fluxograma com o encadeamento destas etapas.

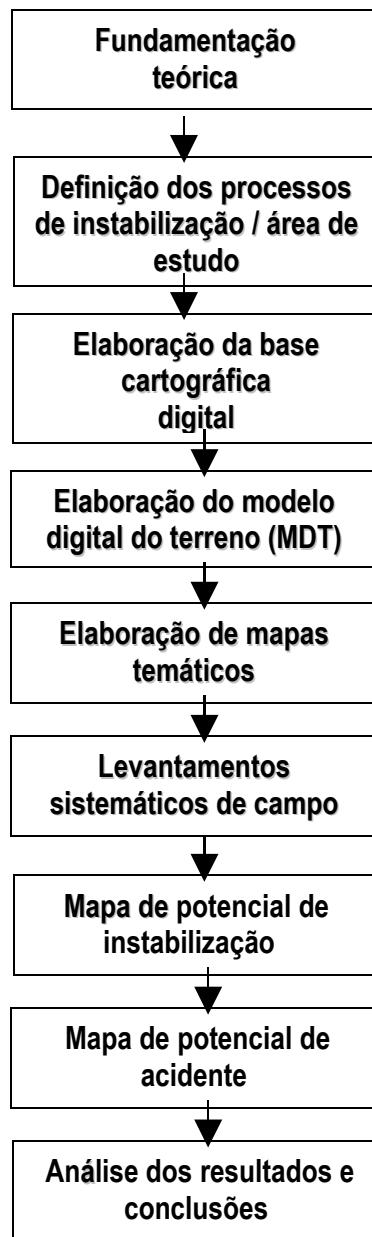


Figura 9: Fluxograma relativo à seqüência de etapas necessárias à realização do método de obtenção do potencial de instabilidade e de acidente adotado.

Foram utilizados os mapas topográficos na escala 1:50.000 (do IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) e 1:10.000 (do IGC- Instituto Geográfico e Cartográfico- folhas topográficas Córrego Santana, Santana de Baixo e Bairro Boa Vista), as fotografias aéreas (da Centroviás – Sistemas Rodoviários – SA) escala de 1:5.000 e do IG (Instituto Geológico- escala 1:25.000). Para os trabalhos de campo, sempre realizados em dupla, utilizou-se balisas topográficas (com 2m, com rosca e plastificada-desmontável), onde

era posicionado o inclinômetro para medir a inclinação da berma do talude e, posteriormente, medir com trena (de 20 metros) a distância entre as balisas. Utilizou-se ainda GPS e bússola de geólogo.

Os programas utilizados foram: o *Autocad Map R14*, para o georreferenciamento e digitalização dos mapas topográficos. O programa *Arcview 3.2a*, para tratamento dos dados obtidos e para realização dos mapas de Declividade, Hipsométrico, de Direção das Encostas, de Direção das Vertentes e de Potencial de Instabilização e de Acidente. E o *Estereonet 2.46*, utilizado para tratamento de dados de direção e mergulho de descontinuidades.

## **8. Fundamentação teórica**

Em um primeiro momento, a revisão bibliográfica esteve voltada à pesquisa e à análise dos métodos de mapeamento e compartimentação geológico-geotécnicos de taludes rodoviários, com referência ao potencial de ocorrência de processos de instabilização envolvendo escorregamentos e fenômenos erosivos lineares pluviais.

Com base neste levantamento bibliográfico, foram selecionadas três linhas metodológicas principais, apresentadas em IPT (1991), Riedel (1994) e Garibaldi (2004), para estruturação do método a ser aplicado nesta pesquisa.

Nesta fase de fundamentação teórica, também foram analisados trabalhos nacionais e internacionais tratando dos agentes/condicionantes, dos atributos e da dinâmica dos processos de escorregamento e de erosão linear pluvial. Adotou-se como referência geral para este estudo os trabalhos de Fernandes *et al* (2001), Herrmann & Dias (2002), Freire (1965), Guidicini e Nieble (1976), Oliveira *et al* (1987), Lima (1987), IPT (1990) e Cruchet, Nedellec (2005).

Na seqüência das atividades de revisão bibliográfica, foram levantados trabalhos anteriores tratando de utilização de SIG e cartografia digital, (MORETTI (2000), ROSA (2004)), e de técnicas de cruzamento e ponderação de atributos, com destaque para análise de multi-critérios (DINIZ, 2004, AUGUSTO FILHO 2005, SILVEIRA 2002).

Após a definição da área de estudo, foram levantados trabalhos anteriores realizados nesta área, para aquisição dos dados e atributos de interesse para produção dos mapas temáticos a serem utilizados no desenvolvimento da pesquisa (NISHIYAMA, 1991).

Pelo fato de regiões de rodovias apresentarem, preferencialmente, problemas geotécnicos associados à presença de feições de instabilização de erosão e escorregamento, optou-se, também, por fazer uma revisão de definições e conceitos fundamentais sobre movimentos de massa, escorregamentos e seus tipos de rupturas e superfícies associadas, além dos processos erosivos mais freqüentes em taludes rodoviários. Também foi elaborado um apanhado dos estudos de casos e inventários já realizados nestas obras.

## **9. Definição dos processos de instabilização e área de estudo**

Os processos principais no trecho analisado são movimentos de massa (escorregamento) e erosão.

A escolha da área a ser analisada se baseou nos critérios descritos a seguir:

- facilidade de acesso à rodovia SP-310 e proximidade da área estudada à cidade de São Carlos;
- trecho atravessando diferentes tipos de relevo (colinas amplas a escarpas), formações geológicas e Materiais Inconsolidados, propiciando diferentes combinações de características geológico-geotécnicas e processos de instabilização dos taludes.

As quilometragens mais específicas a serem consideradas no estudo foram definidas com base nos critérios acima e uma visita preliminar de campo.

## **10. Produção da base cartográfica digital**

Com a definição da área de estudo, optou-se pela escala de trabalho principal 1: 10.000. As três folhas topográficas na escala 1: 10.000 do IGC, que

cobrem o trecho analisado foram escaneadas, georreferenciadas e montado o mosaico destas folhas.

Em seguida, foram vetorizadas, de forma manual, as curvas de nível, pontos cotados, hidrografia e demais feições de interesse. Para tal foi utilizado o programa *Autocad Map R14*, que se encontra associado ao programa *Autocad R14* e permite um georreferenciamento real da imagem raster, dando a opção de se fazer o georreferenciamento em pontos. Defeitos existentes nos mapas topográficos em escala de 1:10. 000 dificultaram o trabalho de vetorização. Por exemplo, a falta de continuidade de algumas curvas de nível causou problemas ao trabalho de atribuir um valor de cota às referidas curvas, este problema é mais crítico em parte do setor nordeste da área estudada onde, além das falhas na continuidade das curvas, tem-se a presença de um talude de corte. Caso parecido ocorreu na região sudeste da área, sendo este último mais facilmente resolvido devido a menor quantidade de curvas de nível presentes neste setor.

Também foram adquiridas fotografias aéreas de 2005 no formato digital, cedidas pela Centrovias (Sistemas Rodoviários–S/A) que foram georreferenciadas e ortorretificadas na base topográfica digital 1: 10.000. Após este procedimento, o traçado das pistas Norte e Sul da Rodovia SP- 310 foi atualizado com base nestas fotos aéreas. A cartografia dos taludes de corte e aterro da rodovia e dos depósitos aluvionares ao longo do traçado, também foi realizada com base nestas fotos aéreas.

Foi também digitalizado o mapa topográfico (folha Rio Claro – (SF-23-M-I-4 confeccionado pelo IBGE, na escala de 1: 50.000)) que, no entanto, foi utilizado somente como base para a localização das coordenadas da área no Mapa Topográfico em escala de 1: 10. 000, trabalho realizado junto ao IGC.

## **11. Elaboração de modelo digital do terreno (MDT)**

Visando-se gerar um modelo digital do terreno mais próximo da realidade, recorreu-se à rotina *TOPOGRID* do software *Arcinfo 7.1* que utiliza um método de interpolação especificamente projetado para criar MDT hidrograficamente correto.

O MDT para a área de estudo foi feito sobre uma faixa de 500 metros de cada lado do eixo da rodovia, sendo necessário exportar, separadamente, em dxf do Programa *Autocad Map*, as curvas de nível, a Rodovia Washington Luís, a drenagem (considerando-se a direção da drenagem vetorizada), a faixa de domínio e os pontos cotados. Estes layers foram inseridos no programa *Arcinfo* 7.1 no qual se gerou então o MDT que foi adicionado ao programa *Arcview* 3.2a para então gerar o *TIN*, (do inglês *triangular irregular network*) conforme o fluxograma apresentado na Figura 10.

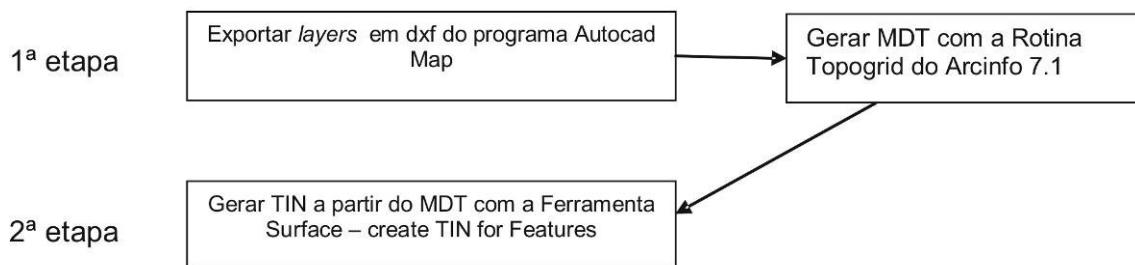


Figura 10 : Fluxograma contendo o processo para a realização do MDT em programa *Arcview* 3.2a.

## **12. Elaboração de mapas temáticos derivados do MDT e do Mapa de Materiais Inconsolidados**

Com os comandos da Ferramenta *Surface* do programa *Arcview* 3.2a foram gerados, a partir do MDT, os Mapas Temáticos de Declividade e Direção das Vertentes.

O Mapa de Materiais Inconsolidados foi feito a partir da Carta de Materiais inconsolidados apresentada por Nishiyama (1991) com escala de 1:100.000 e adequada à escala adotada neste estudo 1:10.000. Buscou-se ajustar o contato das unidades do mapa original de Nishiyama (op.cit) através dos levantamentos sistemáticos de campo. Foram levantados 28 pontos, distribuídos em um trecho de 11,71 quilômetros, onde foram levantadas 16 Seções Geológico-Geotécnicas.

### **13. Levantamentos sistemáticos de campo**

Utilizando-se de um inclinômetro e trena, foram levantadas seções geológico-geotécnicas, as quais foram georreferenciadas. Sobre a base topográfica foi determinada a localização de cada uma das 16 seções, localizadas em taludes de corte e aterro do trecho analisado, bem como seu rumo ou direção.

Nas seções levantadas utilizou-se a classificação de perfil de alteração proposta por Vaz (1996).

### **14. Mapa de Potencial de Instabilização**

Devido à complexidade e o número de fatores intervenientes para a ocorrência de feições de erosão e escorregamento, optou-se por realizar uma análise qualitativa simplificada, com base em atributos que controlam os processos de instabilidade e que irão afetar de forma direta a rodovia.

Os principais fatores intervenientes na ocorrência deste processo foram agrupados em *curvatura de encostas*, *declividade* (em %) e *direção das vertentes* e as unidades de *materiais inconsolidados*.

A atribuição de pesos para cada fator foi realizada a partir de uma ordenação paritária hierárquica, isto é, maiores pesos para maior potencial de instabilidade e menores pesos para menor potencial de instabilidade. Para tanto foi utilizada a análise de multi critérios.

Para o Mapa Temático de Declividade os maiores pesos foram atribuídos às declividades maiores, pois quanto maior a declividade maior será a parcela da componente tangencial do peso da coluna de solo, favorecendo a instabilidade. As declividades mais acentuadas também aumentam a energia cinética da água no escoamento superficial, induzindo o desenvolvimento de feições de instabilidade na encosta/talude.

Foram também considerados os tipos de curvaturas das encostas, ou seja, curvaturas côncavas, planas e convexas. As curvaturas côncavas são representadas por áreas coletoras de água (saturação e fluxo superficial)

atribuindo-se um peso maior às mesmas. As encostas com curvaturas convexas são áreas dispersoras de águas, atribuindo-se, portanto pesos intermediários e, finalmente, as com curvaturas planas, que não são nem coletores nem dispersoras de água, foram consideradas com o menor peso relativo. Estas formas de curvaturas foram obtidas através da ferramenta curvature do programa Arcinfo 7.1.

O Mapa de Direção das Vertentes também foi considerado um atributo a ser analisado para a produção do Mapa de Potencial de Instabilização, porque se as direções das encostas mergulham no mesmo sentido das famílias de descontinuidades (fraturas), podem condicionar a ocorrência de escorregamentos nestes planos.

Um último atributo analisado foi o Mapa de Materiais Inconsolidados. Foram dados pesos às cinco classes apresentadas na área de estudo (materiais inconsolidados das Formações Serra Geral, Botucatu, Corumbataí, Retrabalhados Mistos e os Depósitos Aluvionares). A ponderação de pesos, em relação aos materiais inconsolidados, teve como critérios a sua textura, espessura, como também os problemas a eles relacionados. Em relação à textura percebe-se que quanto mais arenoso for o material, maior a sua suscetibilidade à erosão e quanto maior a sua espessura, maior a probabilidade de geração de um processo erosivo linear de grande porte.

Para a atribuição de pesos, não foram utilizados somente os mapas temáticos obtidos em SIG, sendo também utilizadas informações coletadas em campo, o que ocorreu no processo de classificação do Mapa de Direção das Vertentes. Neste mapa a classificação resultou em dois pesos: 0 - famílias que não contribuem para a ocorrência de feições de escorregamento na região e 1 - famílias que contribuem para esta ocorrência.

A fórmula de ponderação utilizada é apresentada na Equação 1.

$$PI = \sum_N^I Pa_i.Pca_i / \sum_i^n Pa_i \quad (01)$$

Onde:

PI = Peso final ponderado (associado o potencial relativo de instabilização);

$Pa_i$  = Peso do atributo;

$Pca_i$  = Peso da classe do atributo.

Os potenciais relativos de instabilização encontram-se no Anexo 2 (Mapa de Potencial de Acidente e Instabilização)

## 15. Mapa de Potencial de Acidente

Para a realização do Mapa de Potencial de Acidente adotou-se uma faixa de 50 metros (Área Diretamente Afetada da Rodovia) de cada lado da rodovia. Denominou-se de potencial de acidente, pois a deflagração de processos de instabilização nos taludes (erosão e escorregamento) pode afetar diretamente a rodovia, produzindo danos. Como ressaltado no item 4 (Método e Materiais) a análise de potencial de acidente tem apenas um caráter qualitativo, sem definição mais precisa quanto às suas probabilidades de ocorrência e magnitudes econômicas associadas (análise de risco propriamente dita).

Foram levantadas 16 seções geológico-geotécnicas e definida uma chave para a obtenção do Potencial de Acidente (Tabela 6). Esta chave contém todas as informações relacionadas a estas seções, ou seja, seção / Ponto, pista norte ou sul, o tipo de talude (de corte ou aterro), o perfil de alteração presente, o fator geométrico da seção (altura total e inclinação média), os problemas observados, o potencial de instabilização (obtido a partir dos mapas e atributos analisados no item anterior) e o potencial de acidente obtido a partir de todas estas informações.

Tabela 6 - Parte da Chave para obtenção do Potencial de Acidente

Seção	Pista	Tipo	Mate rial	Altura (m)	inclinaçã o media (°)	Fator Geomé trico	Proble mas	Potencial de instabiliz ação	Potencial de acidente Escorreg Erosão	Cor
-------	-------	------	--------------	---------------	-----------------------------	-------------------------	---------------	---------------------------------------	--	-----

Para a definição do grau de fator geométrico (alto, médio e baixo), tem-se os seguintes critérios, para os taludes de corte e aterro, conforme a Tabela 7. Estes critérios foram determinados a partir da altura e inclinação média de cada uma das seções dos taludes de corte e aterro.

Tabela 7 - Critérios para determinação do grau dado ao fator geométrico para a obtenção do potencial de acidente

<b>Critérios para seções em Talude de Corte</b>	
5,8 a 10 metros	Baixo
10 a 15 metros	Intermediário
maiores que 15 metros	alto
<b>Critérios para seções em Talude de Aterro</b>	
7,9 a 8,2 metros	Baixo
8,2 a 8,8 metros	Intermediário
maiores que 48,8 metros	alto

Para a determinação do potencial de acidente os critérios mais importantes foram os relacionados à geometria do talude (fator geométrico), como altura e inclinação média e os problemas observados em campo, levando-se em consideração também o Potencial de instabilização obtido através de análises de Multi-critério.

As seções geológico-geotécnicas são um diferencial entre o método para obtenção do Potencial de Instabilização e o de Acidente, pois elas apresentam em uma escala de detalhe a tipologia dos taludes e dos perfis de alteração presentes.

Para a compartimentação da faixa da ADA foram adotadas, primeiramente, as seções geológico-geotécnicas levantadas em campo. Além disto, adotou-se a tipologia dos taludes (taludes de corte e aterro), o critério de meia distância para obtenção das áreas de influência de cada talude (Corte/Aterro) e os divisores de água. Neste processo, utilizou-se uma hachura para a diferenciação entre os taludes de corte e aterro, como também cores para feições de instabilização dominantes na seção (escorregamento ou erosão). (Anexo 2 – Mapa de Potencial de Acidente e Instabilização)

## 16. Análise dos resultados e conclusões

Os resultados obtidos com a realização das nove etapas previstas foram, então, analisados procurando-se verificar se a metodologia proposta era aplicável às condições geológico-geotécnicas presentes no trecho estudado. Chegou-se a cinco classes de potencial de instabilização, denominadas muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto, como também a três classes de potencial

de acidente, baixo, médio e alto. Entendeu-se melhor os perfis de alteração e realizou-se uma análise do potencial de acidente por trecho (quilometragem e extensão) e por percentagem das regiões de potencial de acidente médios e altos.

## 17. ÁREA DE ESTUDO

A região estudada encontra-se no trecho da Rodovia Washington Luís situado entre os quilômetros 187+255 a 198+ 970. (Figura 12) A área se localiza totalmente no município de Corumbataí, na Região Centro-Oeste do Estado, e totaliza aproximadamente 10 quilômetros quadrados. (Figura 11)

A Rodovia Washington Luís (SP-310), liga a cidade de Rio Claro a São Carlos e também a outros centros urbanos importantes no Estado de São Paulo, como, por exemplo, Campinas, Jundiaí, Araraquara e São José do Rio Preto, sendo a principal via de acesso da região e apresenta, ao longo de sua extensão, um traçado SE-NE.

A SP 310 possui duas pistas (norte – São José do Rio Preto; sul – São Paulo) com oito metros de largura de plataforma cada uma. O volume de tráfego é de cerca de sete mil veículos/dia, com velocidade de tráfego variando entre 80 km/h a 110 km/h. O limite de carga permitido é de 45 toneladas. A geometria da rodovia no trecho estudado é sigmóide com presença de taludes de corte e aterro.

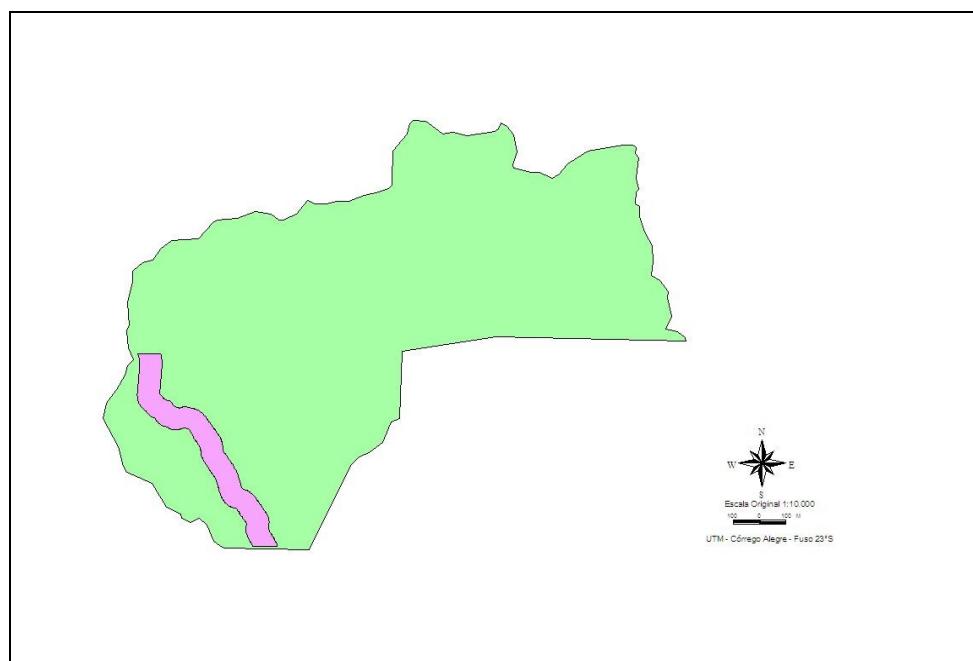


Figura 11: Localização da área de estudo no município de Corumbataí.

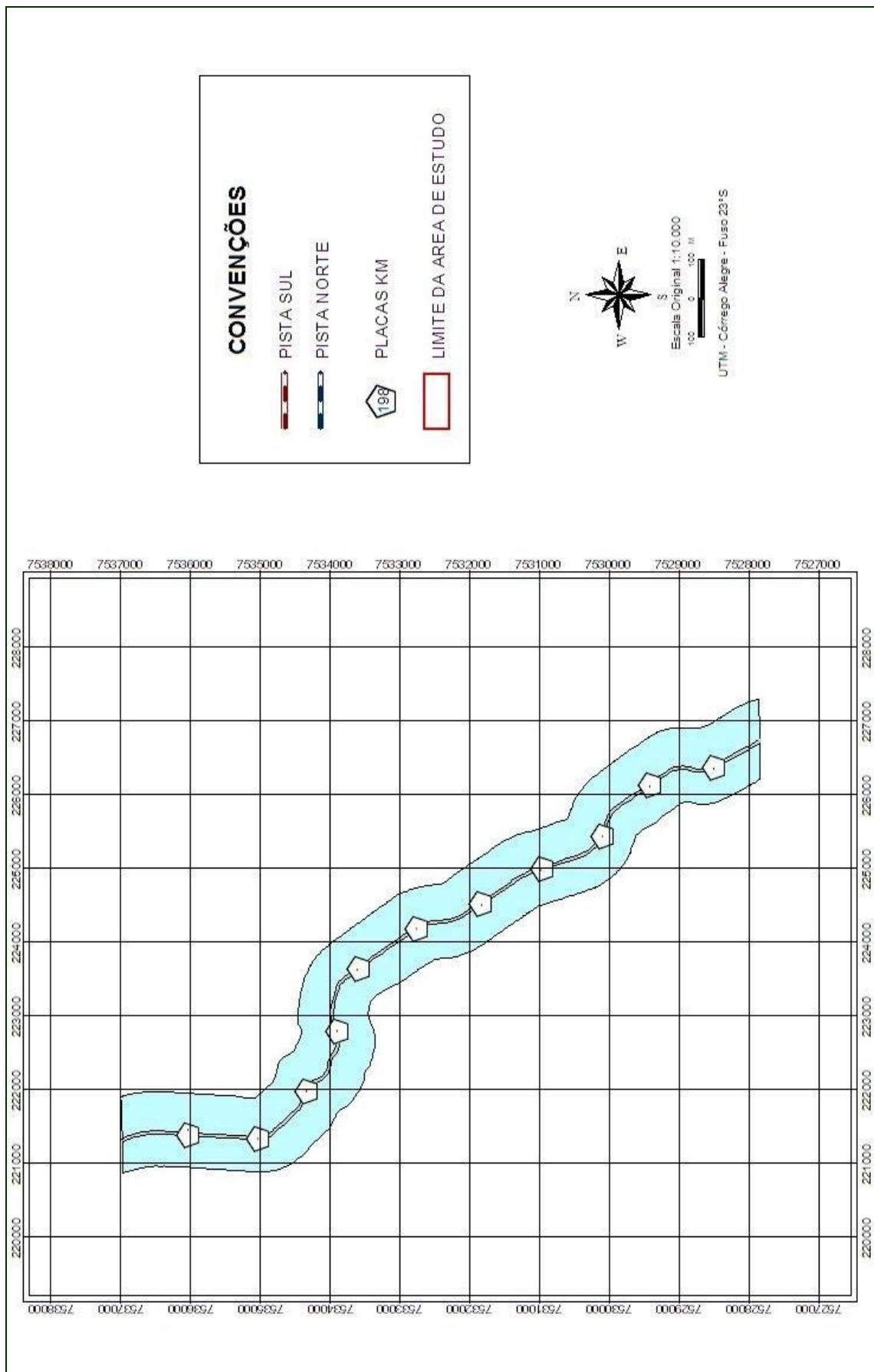


Figura 12: Trecho estudado – Km 187+255 a 198+970

## 18. Aspectos do Relevo

A área de estudo está inserida na quadrícula de São Carlos, estudada por Nishiyama (1991). Ela se caracteriza por abranger parte de duas províncias geomorfológicas, de acordo com a classificação de Almeida (1964): *Depressão Periférica* (abrange 40 % da superfície total da quadrícula) e *Província das Cuestas Basálticas* no restante desta quadrícula.

- **Depressão Periférica**

Para Almeida (1964) e IPT (1981) a Depressão Periférica, é subdividida em três zonas distintas: a do *Paranapanema*, a do *Médio Tietê* e a do *Mogi-Guaçu*. Na região em estudo a Depressão Periférica encontra-se representada pela zona do Médio Tietê.

As formas de relevo predominantes na porção correspondente ao Médio Tietê são as colinas amplas (Figura 13), as colinas médias e morros alongados. As colinas amplas estão relacionadas aos sedimentos cenozóicos da Formação Rio Claro, e às intrusivas básicas; as colinas médias estão relacionadas aos sedimentos finos do Grupo Passa Dois, principalmente aos siltitos da Formação Corumbataí e os morros alongados associam-se aos arenitos da Formação Pirambóia.

Segundo Oliveira e Prado (1984) a Depressão Periférica é caracterizada por um relevo suave, constituído por baixas colinas tabuliformes esculpidas por um manto detrítico de espessura variável, geralmente apresentando inclinações inferiores a 12%. Quando a dissecação foi realizada de forma mais intensa pelos cursos d'água, a exemplo do Rio Passa Cinco, (que drena a área de estudo) a inclinação das vertentes supera a casa dos 12% podendo mesmo atingir valores superiores a 20%.



Figura 13: Feições de relevo – colinas amplas- Pto 11 / seção 11

- **Cuestas basálticas**

De acordo com IPT (1981), verifica-se que as regiões caracterizadas como Cuestas Basálticas ocupam toda a porção oeste, centro oeste e norte da quadrícula de São Carlos, predominando nessa província as colinas amplas e médias. As colinas amplas ocorrem na porção centro ocidental nas localidades denominadas Serra Santana e Campo Alegre, estendendo-se sobre os residuais das formações Botucatu e Pirambóia como também sobre a área estudada.

O relevo cuestiforme é uma feição presente na região da área de estudo (Figura 14), sendo relativamente comum nas vertentes dos vales do rio Passa Cinco, ressaltado pela profunda incisão sobre as litologias permianas com camadas mais resistentes aos processos erosivos. (NISHYAMA, 1991).



Figura 14: Feições de relevo – cuestas basálticas

## 19. Formações Geológicas

A região estudada está inserida na porção centro-oeste do Estado de São Paulo, sendo caracterizada totalmente pelas litologias pertencentes à Bacia Sedimentar do Paraná, no seu flanco noroeste. As idades destas litologias variam entre Paleozóicas e Mesozóicas e são definidas na área pelo Grupo Passa Dois e São Bento, Formações Pirambóia, Botucatu, Serra Geral e Corumbataí, analisadas geotecnicalemente por Nishiyama (1991).

- **Formação Pirambóia**

Primeiramente o termo Pirambóia foi empregado para designar as camadas argilosas de origem fluvial situadas na porção basal da Formação Botucatu.

A Formação Pirambóia foi definida como uma unidade independente por Soares (1973), caracterizando-a por arenitos argilosos de origem fluvial com intercalações de siltitos, folhelhos e argilitos constituindo a base de seqüência

mesozóica. Os tipos litológicos dominantes são os arenitos de granulação média a muito fina, sendo raros os tipos grosseiros e conglomeráticos.

Segundo Nishiyama, (1991), em fotografias aéreas, os sedimentos da Formação Pirambóia apresentam-se intensamente dissecados por incisões profundas dos canais de drenagem, originando vales com vertentes de declividades acentuadas que em muitos casos superam 20 % de inclinação. A semelhança com litologias de outras formações, a exemplo da Formação Corumbataí é que ambas mostram na análise de fotografias aéreas, uma densa rede de drenagem.

#### • **Formação Botucatu**

Nishiyama (1991) afirma que a:

A primeira utilização do termo Botucatu deve-se a Gonzaga de Campos apud Cottas *et al.* 1966, que denominaram os arenitos aflorantes na Serra homônima de “Gres Botucatu”. Esta formação abrangia, originalmente os arenitos da Formação Pirambóia, e as intercalações de arenito em basaltos da Formação Serra Geral.

A Formação Botucatu foi redifinida por Soares (1973), como pertencente a um ambiente desértico, constituída por arenitos de granulação fina a media, com os grãos bem arredondados, superfície fosca, bem selecionados e com baixa porcentagem de finos. Localmente, segundo o mesmo autor, são observados corpos de arenitos conglomeráticos na base do pacote, sendo relativamente comuns seixos facetados. Estes corpos de arenitos conglomeráticos são atribuídos à fácies torrenciais.

#### • **Formação Serra Geral**

A primeira utilização do termo Serra Geral deve-se a White *apud* Kaefer, (1979), ao descrever a seção tipo na Serra do mesmo nome no Estado do Paraná. Constitui-se de magmatitos básicos dentre os quais incluem derrames de lavas, soleiras, diques de diabásio e corpos de arenitos intertrapeanos. Sua origem estaria relacionada a um vulcanismo de fissura com efusão relativamente calma, evidenciada pela ausência de materiais piroclásticos. A presença de corpos de arenitos intercalados, semelhantes ao da Formação Botucatu, indica a recorrência das condições ambientais. A idade do vulcanismo acha-se no intervalo de 150 a 90 milhões de anos.

- **Formação Corumbataí**

Esta Formação foi pela primeira vez designada por (PACHECO *apud* KAEFER, 1979) para denominar os sedimentos com predominância de materiais argilosos de coloração arroxeadas ou avermelhadas com intercalações de arenito muito fino, aflorantes no vale do rio homônimo. Nishiyama (1991), afirma que este pacote pode ser dividido em duas seqüências: uma inferior, constituída de siltitos, argilitos e folhelhos cinza escuro, exibindo fratura concóide e níveis carbonáticos e outra superior, caracterizada por argilitos, siltitos e arenitos finos, de coloração predominantemente arroxeadas e avermelhadas.

As litologias predominantes nesta região são os siltitos, argilitos e arenitos, podendo-se ter intercalações entre estes termos.

Nishiyama (1991) complementa dizendo que um fato muito importante a ser observado em trabalhos que enfocam a Formação Corumbataí é o desprendimento de pequenos fragmentos milimétricos a centimétricos, com forma aproximadamente discóide, quando as litologias dessa unidade estão sujeitas às condições intempéricas. Este processo denominado empastilhamento parece ser, segundo as suas observações de campo, mais freqüentes nos siltitos que nos argilitos, e conforme é visto também na seção em solo ( $S_1 / S_2$ ) 28/ Pto 28, localizada na porção sul da área estudada.

## **20. Materiais Inconsolidados**

Para se ter uma classificação dos materiais inconsolidados observados pretendeu-se adotar, ao longo do desenvolvimento da pesquisa, uma classificação genérica com o uso de termos genéticos. Com base neste sistema de classificação, foram assim separados os materiais inconsolidados em dois grandes grupos: os de origem residual e os de origem retrabalhada.

Os materiais **inconsolidados residuais** são resultantes da decomposição da rocha e evoluídos “*in situ*”, isto é, não sofreram qualquer tipo de transporte ou retrabalhamento. Os materiais **inconsolidados retrabalhados** são aqueles que sofreram algum tipo de mobilização ou

retrabalhamento após a decomposição da rocha matriz, sendo muitas vezes associados à presença de linhas de seixos na sua base, compostos essencialmente de minerais de quartzo.

- **Materiais inconsolidados retrabalhados- Aluviões**

Depósitos inconsolidados de argila, silte, areia e cascalho, associados às linhas de drenagem principais. Podem apresentar horizontes de solos orgânicos com baixa capacidade de suporte (“solos moles”). O lençol freático tende a ser pouco profundo, apresentando-se, em geral, saturados.

- **Mistos**

Materiais que apresentam porcentagens relativamente altas de fração areia e que ocorrem sobrejacentes aos magmatitos básicos, caracterizando-se uma mistura, em proporções variáveis, de finos provenientes da composição destas rochas e de materiais arenosos adjacentes residuais da Formação Botucatu e ou materiais arenosos retrabalhados. (NISHIYAMA, 1991)

Deve-se ressaltar que estes perfis se desenvolvem na região, exatamente sobre corpos de magmatitos básicos à semelhança dos residuais destes. No entanto o elevado teor de areia e a presença de seixos de quartzo permitem avaliar uma contribuição externa de materiais retrabalhados, razão pela qual a denominação de material retrabalhado misto. Este Material inconsolidado, foi encontrado na área de estudo nas seções 6/ Pto 6 e seção 7/ Pto 7, localizadas ao Norte/ Nordeste do trecho analisado.

- **Materiais inconsolidados residuais da Formação Serra Geral**

Tanto os materiais residuais originários dos basaltos, quanto aqueles resultantes da decomposição dos diabásios, caracterizam-se na região por ocorrer sob a forma de corpos de extensão limitada. Têm ocorrência mais significativa em termos de superfície. Desenvolvem-se em condições estáveis, de inclinação dos terrenos, desde declividades que superam a casa dos 20% como constatada no alto da serra de São Pedro, por Nishiyama (1991), até situações moderadas, inferiores a 10%. Estas condições somadas às características quanto ao grau de fraturamento e outras estruturas rochosas,

tais como vesículas e amigdalas, condicionam maior ou menor espessura de material de alteração “in situ”. Desse modo, diferentes corpos de diabásio observados apresentaram espessuras variáveis de solo, mesmo quando desenvolvidos em condições de declividade semelhantes. Da mesma forma, pode-se ter em um mesmo nível um basalto pouco fraturado adjacente a outro ostentando estruturas vesiculares e ou amigdaloidais - este se apresentando intensamente decomposto e aquele pouco alterado. Na área de estudo estes solos residuais foram encontrados nas seções levantadas denominadas Pto 1 / seção 1, Pto 2/ seção 2, Pto 7/ seção 7, Pto 9/ seção 9, Pto 10/ seção 10, Pto 11/ seção 11 e Pto 15/ seção 15.

- **Materiais inconsolidados residuais da Formação Botucatu**

Os materiais residuais da Formação Botucatu caracterizam-se por apresentar uma elevada percentagem de areia, geralmente acima de 80%, ausência de coesão e espessuras que podem superar a centenas de metros (NISHIYAMA, 1991).

Sob análise, em fotografias aéreas, caracterizam-se pela tonalidade clara, textura lisa e baixa densidade de drenagem. Geralmente constituem relevos de inclinações suaves de perfil côncavo. Apresentam curvas de nível côncavas em áreas onde a camada residual ou a associação desta com a cobertura cenozóica, supera uma dezena de metros. Sob estas condições as encostas tendem a ser longas e excedem na maioria das vezes 500 metros de comprimento. Quando a influência do substrato se faz presente sob pequena espessura do manto residual e em condição de inclinação mais acentuada, tendem a perfis de encosta do tipo convexo com curvas de nível convexas. (RODRIGUES, 1982)

Os vales fluviais desenvolvidos sobre os materiais residuais da Formação Botucatu são amplos, com suaves inclinações de suas vertentes e freqüentemente apresentam extensas planícies de inundação. Na área estudada o solo residual da Formação Botucatu encontra-se no Pto 02/ seção 2.

- **Materiais inconsolidados residuais da Formação Pirambóia**

Segundo Nishiyama (1991), os materiais residuais da Formação Pirambóia são caracterizados pelas areias argilosas de coloração amarelada e alaranjada, com níveis altimétricos que variam de 650 a 750 metros, constituindo perfis de alteração que raramente ultrapassam os cinco metros de espessura. Os valores próximos a este limite são observados nas porções de declividade moderada, principalmente sobre as elevações de topo que formam os divisores locais de água e nas vertentes de inclinação suave dos vales fluviais. As vertentes apresentam um manto de alteração pouco desenvolvido, geralmente com a exposição direta dos materiais rochosos à superfície. O intervalo de maior freqüência é de 0 a 2 metros e subordinadamente o de 2 a 5 metros.

O aumento do teor de finos com a profundidade, segundo o mesmo autor, parece ser característica relativamente comum nos materiais de alteração da Formação Pirambóia. Isto denota uma passagem mais ou menos brusca de níveis, de termos essencialmente arenosos, presentes no primeiro metro do perfil, para termos com maior porcentagem de finos.

Os materiais residuais da Formação Pirambóia correspondem aos solos podzólicos vermelho amarelo Unidade Serrinha, segundo Oliveira e Prado, (1984). Este material inconsolidado residual encontra-se na área de estudo no Pto 28/ seção 28, Pto 21/seção 21, Pto 22/ seção 22, Pto 23/ seção 23, Pto 24/seção 24, Pto 25/ seção 25 e Pto 26/ seção 26.

- **Materiais inconsolidados residuais da Formação Corumbataí**

Constituem camadas de alteração de espessuras variáveis, desde poucos centímetros até 5 metros. Ocorrem em proporções mais ou menos eqüitativas as espessuras menores que 2 metros e o intervalo de 2 a 5 metros. Em geral, as menores espessuras são observadas em áreas de declividade mais acentuadas e desenvolvidas sobre o substrato siltoso, ou silto arenoso. Ao contrário, as maiores espessuras são desenvolvidas em condições menos declivosas e substrato de constituição argilo siltosa ou argilosa. Sob exame em fotografias aéreas, apresentam-se intensamente recortados por canais de drenagem, sobretudo em condição de inclinação mais forte dos terrenos.

Nestes mesmos locais as micro-feições do relevo são mais pronunciadas, indicando a presença de rocha matriz muito próxima ou até mesmo exposta à superfície, enquanto que nos baixios dos vales fluviais locais, onde predominam declividades moderadas, a textura é nitidamente mais homogênea, caracterizando camadas mais espessas de material residual e/ou coluvial.

Geotecnicalemente os materiais da Formação Corumbataí apresentam grande importância, tanto pelos problemas que ocasionam em obras de engenharia civil, como pela sua distribuição espacial. São interrompidos apenas pelos sedimentos cenozóicos da Formação Rio Claro, e pelos residuais dos magmatitos básicos presentes neste setor. O intenso fendilhamento verificado pode representar caminhos preferenciais para as águas pluviais, provocando a saturação rápida e, conseqüentemente, a perda de resistência, levando ao desprendimento e quedas de blocos. Além deste problema, as fendas podem constituir caminhos preferenciais de percolação de substâncias poluentes. Estes materiais são vistos na área de estudo no Pto28/ seção 28.

## **21. Recursos Hídricos, Vegetação e Características Climáticas**

A área de estudo encontra-se dentro da quadrícula de São Carlos que abrange parcialmente as bacias hidrográficas dos rios Jacaré-guaçu, Jacaré-Pepira, Corumbataí e Mogi-Guaçu.

Nos limites a quadrícula apresenta como principais afluentes os rios Passa Cinco, Da Cabeça e o Ribeirão Claro, sendo que o Rio Passa Cinco drena a área de estudo. Drenam principalmente as litologias das Formações Corumbataí e Pirambóia e, fora da área estudada, as rochas do Subgrupo Itararé. Apresentam dois trechos distintos quanto à forma de seus vales: o primeiro corresponde ao alto curso, é caracterizado pelo gradiente elevado, vales relativamente estreitos e vertentes de inclinações acentuadas, que em alguns casos superam 20 %, esculpidos em arenitos da Formação Pirambóia. O segundo é representado pelo gradiente moderado, vales amplos e esculpidos em litologias da Formação Corumbataí.

Na região, segundo Oliveira e Prado (1984), a vegetação primitiva era apresentada principalmente pelos campos cerrados, cerrados e cerradões, condicionada pela predominância de solos muito profundos, altamente permeáveis e de baixo potencial nutricional.

Tanto o cerradão quanto a mata tropical semi-decídua constituíam a vegetação primitiva em áreas de solos de textura argilosa. Por outro lado, as matas decíduas ocupavam as faixas de solos litólicos, originados do basalto caracterizadas pela declividade acentuada, deficiência hídrica e pequena profundidade.

A vegetação primitiva foi rapidamente dizimada na região, sobretudo pelo avanço da pecuária e subordinadamente pelas culturas canavieiras e de citrus e pelos reflorestamentos. Entretanto, alguns núcleos dessa vegetação ainda persistem graças às condições naturais dos terrenos que, de certa forma, dificultam a sua ocupação. A presença desses raros núcleos pode ser constatada nas faixas de terrenos com declividades acentuadas ou em áreas de solos de baixa declividade.

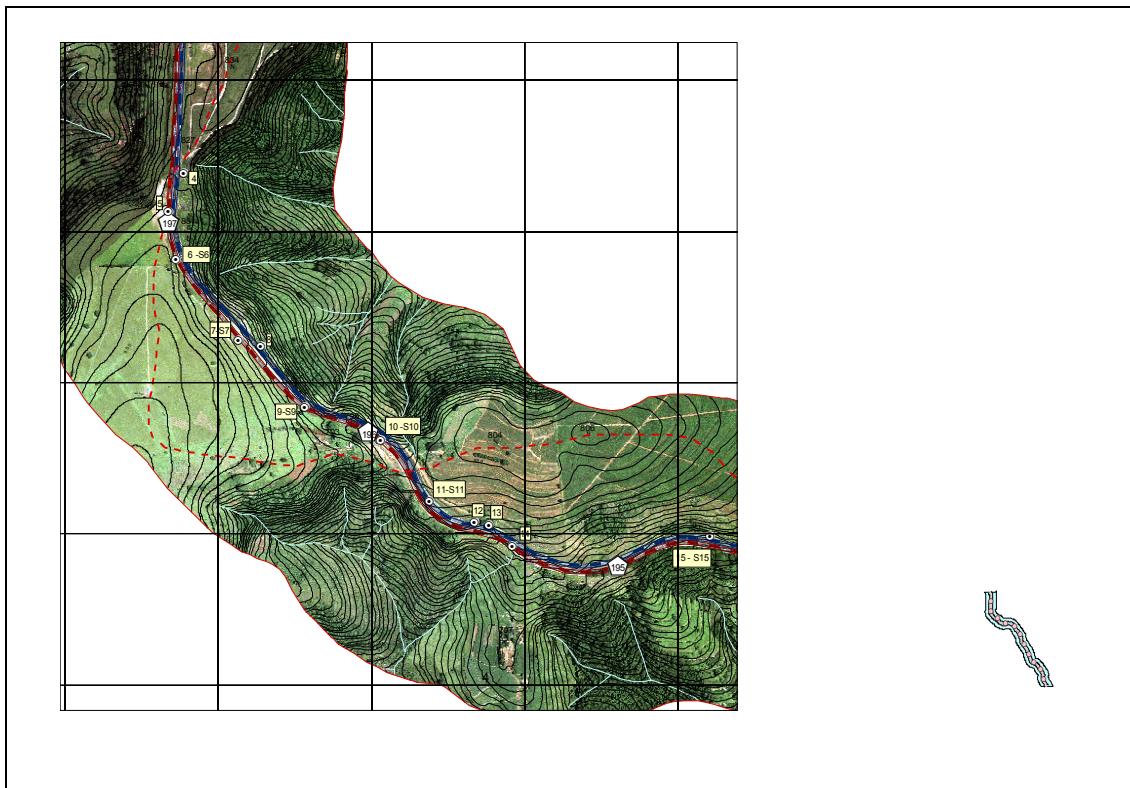
Segundo o Sistema de Köppen podem ser definidos como tipo climático para a região em estudo: o tipo CWa, mesotérmico de inverno seco e temperatura do mês mais quente superior a 22°C, característico para a porção correspondente à Depressão Periférica; o tipo CWb, que ocorre nas regiões serranas com altitudes variáveis entre 800 a 1000 metros, sendo a temperatura do mês mais quente inferior a 22°C.

## 22. RESULTADOS

Serão apresentados a seguir os resultados obtidos no decorrer desta pesquisa, exceto os da etapa 1 e 2 (Fundamentação Teórica e escolha da área de estudo) já apresentados nos itens 3 e 4, respectivamente.

## 23. Base Cartográfica Digital

A Base cartográfica digital é composta pelo Mapa Topográfico 1:10.000 (IGC) e pelas fotografias aéreas à escala de 1:5.000. Nesta base são observados 28 pontos, distribuídos em um trecho de 10,5 quilômetros onde foram levantadas também 16 seções geológico-geotécnicas. (Figura 15)



**Figura 15: Base Cartográfica Digital**

Nesta base foi associada uma tabela de atributos, onde se colocou todas as informações obtidas em campo, as cotas retiradas do Modelo Digital do Terreno e os Pontos/ seções descritos, formando uma espécie de banco de

dados no Programa *Arcview 3.2 a*. É esta dualidade, ou seja, a relação entre pontos de campo (Ponto / seção) observados na Base Cartográfica Digital e informações coletadas em uma tabela de atributos, que diferencia qualquer SIG de outros programas de cartografia digital, como o *Autocad* ou *MicroStation*. (Figura 16)

Shape	Feature	Recnum_1	Lat	Long	Attribute	Longitude	Name	Obs	Colanova	Name_def	Recnum_2
Point	1	041	-22.2585160	-47.7030550	819	11-DEZ-06 04:08	S22-Km1985	Sul,Aterro,Km198	812.9	Pto 1 / Seção 1	1 Pto 1 / S
Point	20	060	-22.2610070	-47.7032780	739	12-DEZ-06 04:58	S23	Sul,Aterro	813.8	Pto 2 / Seção 2	2 Pto 2 / S
Point	21	061	-22.2614670	-47.7041030	792	12-DEZ-06 06:14	FSG/Fbot	Contato SG/Bot	793.0	Pto3	3
Point							Contina		820.0	Pto 4	4
Point	3	043	-22.2672710	-47.7037600	827	11-DEZ-06 06:00	Km1975	Ponto de GPS	833.3	Pto 5	5
Point	22	062	-22.2686950	-47.7038030	831	12-DEZ-06 06:37	S24	Sul,Retrabalhado (S2Corm)	835.8	Pto 6 / Seção 6	6 Pto 6 / S
Point	23	063	-22.2713080	-47.7020580	823	12-DEZ-06 07:02	S25	Sul,Retrabalhado/SG,Rocha	820.1	Pto7 / Seção 7	7 Pto7 / S
Point	4	044	-22.2714870	-47.7013570	813	11-DEZ-06 06:43	Contina		810.1	Pto 8	8
Point						03-ABR-2007	27	Sul,S1 Ba, S2 Ba R2 Ba	810.6	Pto 9 / Seção 9	9 Pto 9 / S
Point						03-ABR-2007	26 Km 196	Sul, S1 Ba e S2 Ba	792.2	Pto 10 / Seção 10	10 Pto 10 /
Point						03-ABR-2007	28	Sul, S1 Ba, S2Ba e R3Ba	766.9	Pto 11 / Seção 11	11 Pto 11 / S
Point	6	046	-22.2770090	-47.6945630	763	11-DEZ-06 07:51	Dep. Talus		756.5	Pto 12	12
Point	5	045	-22.2770970	-47.6940960	763	11-DEZ-06 07:47	Dep.Talus		752.8	Pto 13	13
Point		039				03-ABR-2007	39	Ponto de GPS	758.9	Pto14	14
Point	7	047	-22.2777160	-47.6869970	721	11-DEZ-06 08:18	Alto S 29		720.0	Pto 15 / Seção 15	15 Pto 15 / S
Point						03-ABR-2007	40	Norte, Ponto de GPS	717.6	Pto 16	16
Point	8	048	-22.2811290	-47.6818670	672	11-DEZ-06 08:22	Km1945	Sul, Ponto de GPS	673.2	Pto 17	17
Point	9	049	-22.3010140	-47.6706500	622	11-DEZ-06 08:34	Corte S30	Seção a ser feita	621.1	Pto 18 / Seção 18	18 Pto 18 /
Point						03-ABR-2007	41	Norte, S1 Pi	625.7	Pto19 / Seção 19	19 Pto19 / S
Point	10	050	-22.3049860	-47.6588870	625	11-DEZ-06 08:56	Km1915	Sul	631.4	Pto 20	20
Point	19	059	-22.3123990	-47.6642360	646	11-DEZ-06 13:46	521-Km190N	Norte,Retorno novo	635.2	Pto 21 / Seção 21	21 Pto 21 /
Point	18	058	-22.3135310	-47.6623870	643	11-DEZ-06 13:19	S20	Sul	636.8	Pto 22 / Seção 22	22 Pto 22 /
Point	17	057	-22.3172150	-47.6594500	615	11-DEZ-06 12:54	S19	Sul	598.8	Pto 23 / Seção 23	23 Pto 23 /
Point	15	055	-22.3189910	-47.6578440	621	11-DEZ-06 12:02	S17-Km189N	Norte	619.2	Pto 24 / Seção 24	24 Pto 24 /
Point	16	056	-22.3201290	-47.6577320	620	11-DEZ-06 12:35	S18	Sul	618.8	Pto 25 / Seção 25	25 Pto 25 /
Point	14	054	-22.3226090	-47.6561840	633	11-DEZ-06 11:19	S16	Sul	639.7	Pto 26 / Seção 26	26 Pto 26 /
Point		042				03-ABR-2007	42	Sul, Contato PI/CO	630.8	Pto 27	27
Point	13	053	-22.3315600	-47.6536650	624	11-DEZ-06 10:29	S14	Sul	625.2	Pto 28 / Seção 28	28 Pto 28 /
Point	12	052	-22.3354740	-47.6511610	648	11-DEZ-06 10:17	Km187N	Pto Controle,Km,Retorno	Pto 29		29

**Figura 16: Tabela de atributos da Base Cartográfica Digital.**

Utilizando-se de recursos oferecidos pelo SIG *Arcview 3.2<sup>a</sup>*, também foi feito um “Hotlink” entre a base cartográfica (Pontos/ seções) e fotografias tiradas em campo. Para tanto, foi necessário acrescentar à tabela de atributos dos pontos, o caminho do arquivo das fotografias as quais se desejava ligar, através da inserção de mais uma coluna, denominada “fotos”. A Figura 17 é um exemplo disto, sendo que no canto superior esquerdo apresenta-se a foto do Ponto 1/ seção 1 tirada em campo, juntamente com a tabela de atributos.

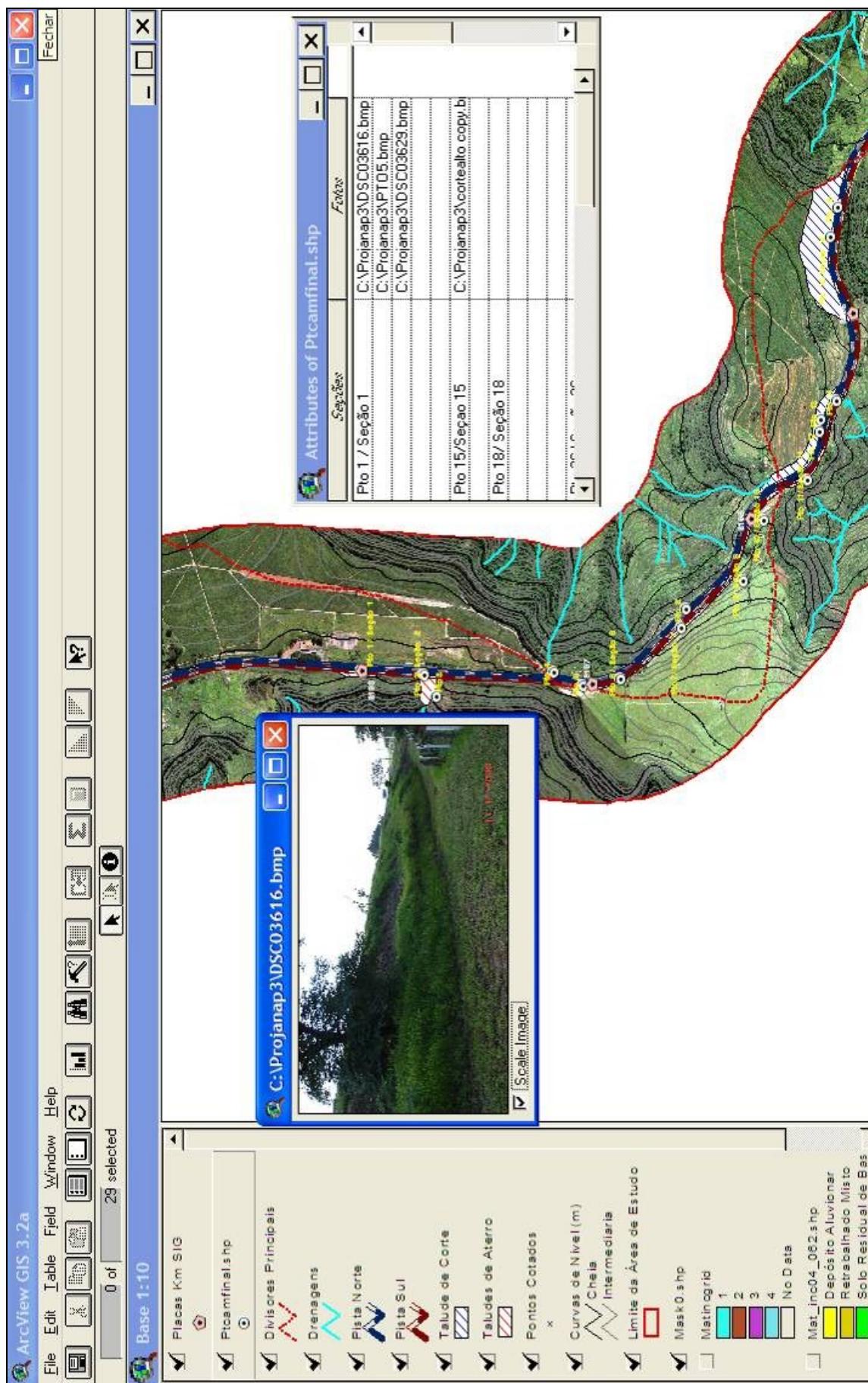


Figura 17: Detalhe da Base Cartográfica com a tabela de atributos dos Pontos/ Seções e a Fotografia do Ponto/ Seção 1 tirada em campo.

## 24. Mapas Temáticos

### 25. Mapa Hipsométrico

O Mapa Hipsométrico é, conforme dito anteriormente, um “fatiamento” da superfície gerada do terreno, ou MDT. (Figura 18)

Este mapa foi dividido em cinco intervalos de elevação, com cotas mínimas de 588,5 metros e máximas de 860,4 metros. Sobre estas classes foram feitos, então, cálculos de freqüência da área de cada uma delas, com valores em  $m^2$  e percentagens da área total. Percebe-se, com a realização destes cálculos, a predominância dos intervalos de cotas com hipsometria entre 600 a 650 metros, com 44,7% da freqüência das áreas em relação à área total de estudo que é de 1178 ha. As cotas de hipsometria com menor freqüência de áreas em relação à área total são as situadas entre 700 a 750 metros, ocupando apenas 8,1% de freqüência das áreas. (Tabela 8)

Tabela 8- Distribuição das classes hipsométricas (em  $m^2$  e em %) na área estudada.

Classes hipsometria (m)	Área	
	( $m^2$ )	%
588,5 – 600	1113376,2	9,5
600 – 650	5269140,7	44,7
650 – 700	1518106,2	12,9
700 – 750	957355,0	8,1
750 – 800	1186011,1	10,1
800 - 860,4	1736060,8	14,7
Total	11780050,0	100,0

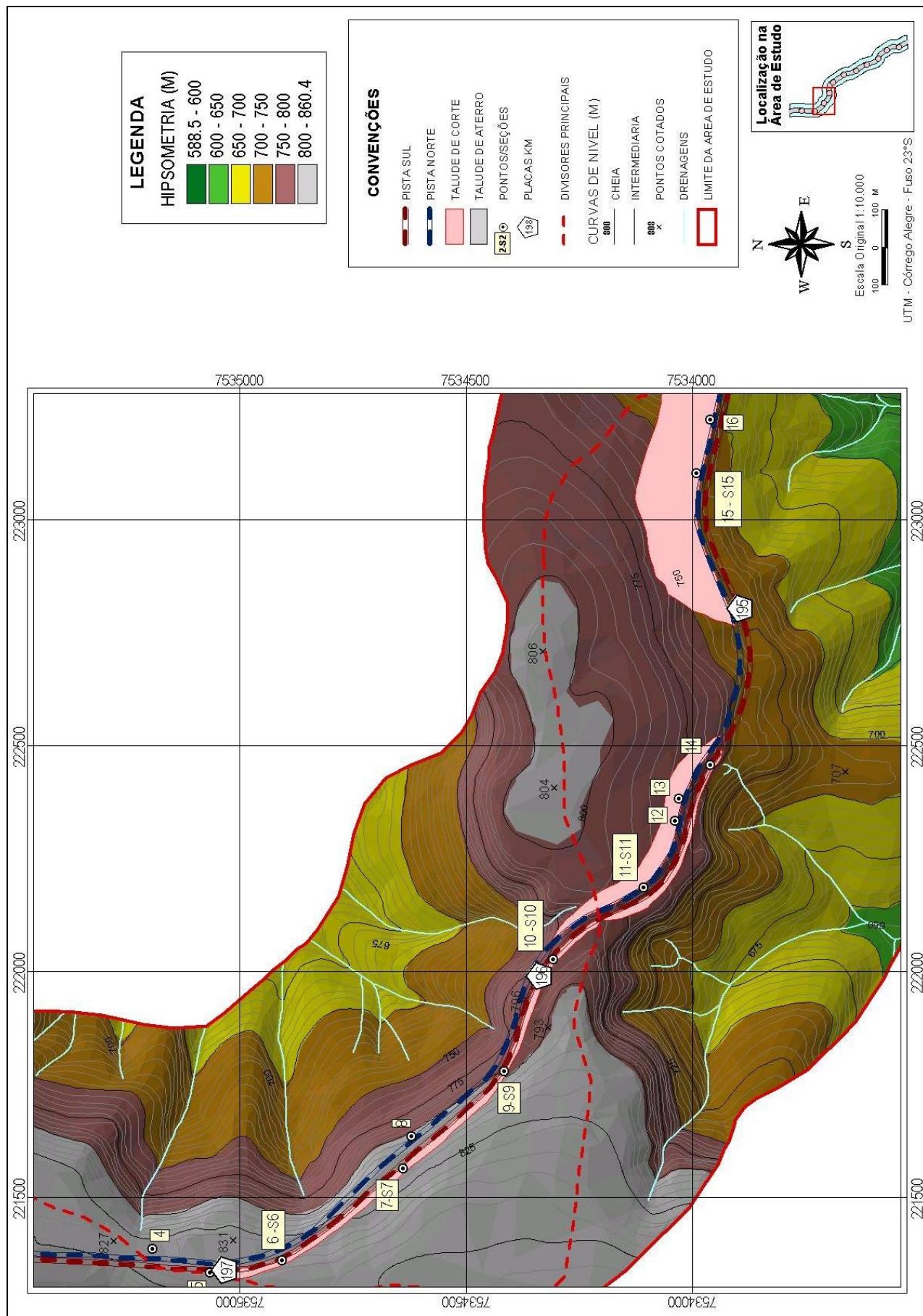


Figura 18 : Parte do Mapa Hipsométrico realizado em programa Arcview 3.2a

## 26. Mapa de Declividade

A declividade foi calculada a partir do comando *Surface – Slope* do *Arcview 3.2a* em intervalos contínuos de graus. Estes valores foram reclassificados em cinco classes expressas em percentagens. (Figura 19)

Foram definidas as seguintes classes: de 0 a 6 %, 6 a 12%, 12 a 30 %, 30 a 50 % e maiores que 50%. Estas classes foram escolhidas de acordo com trabalhos anteriores e com características do trecho analisado e para a determinação do potencial de instabilização na área de estudo. A declividade apresenta uma associação com feições de instabilização devido ao fato de que quanto maior a inclinação do terreno maior será velocidade da água de carreamento de partículas e, consequentemente, maior será a suscetibilidade de ocorrência de feições erosivas. Quanto menor for a inclinação do terreno, menor vai ser a velocidade em que a água passa por ele, no entanto, maior será a infiltração, causando outros problemas de igual importância, como feições de escorregamento. Para as classes de declividade em porcentagem foram feitos, então, os cálculos de área em  $m^2$  e percentagem da área total. Percebe-se que há uma predominância da freqüência das áreas das classes de declividades situadas entre 12 a 30 % (41,9% de freqüência das áreas em relação à área total) em contraste a classes maiores que 50% que só ocupam 2,9% de freqüência das áreas em relação à área de estudo total. (Tabela 9)

Tabela 9- Distribuição das classes de declividade em % e em  $m^2$  no trecho analisado.

Declividade (%)	Área	
	Área ( $m^2$ )	%
0 – 6	222227,6	18,9
6 – 12	3027251,7	25,7
12 – 30	4938373,0	41,9
30 – 50	1255324,5	10,7
> 50	336873,2	2,9
Total	11780050,0	100,0

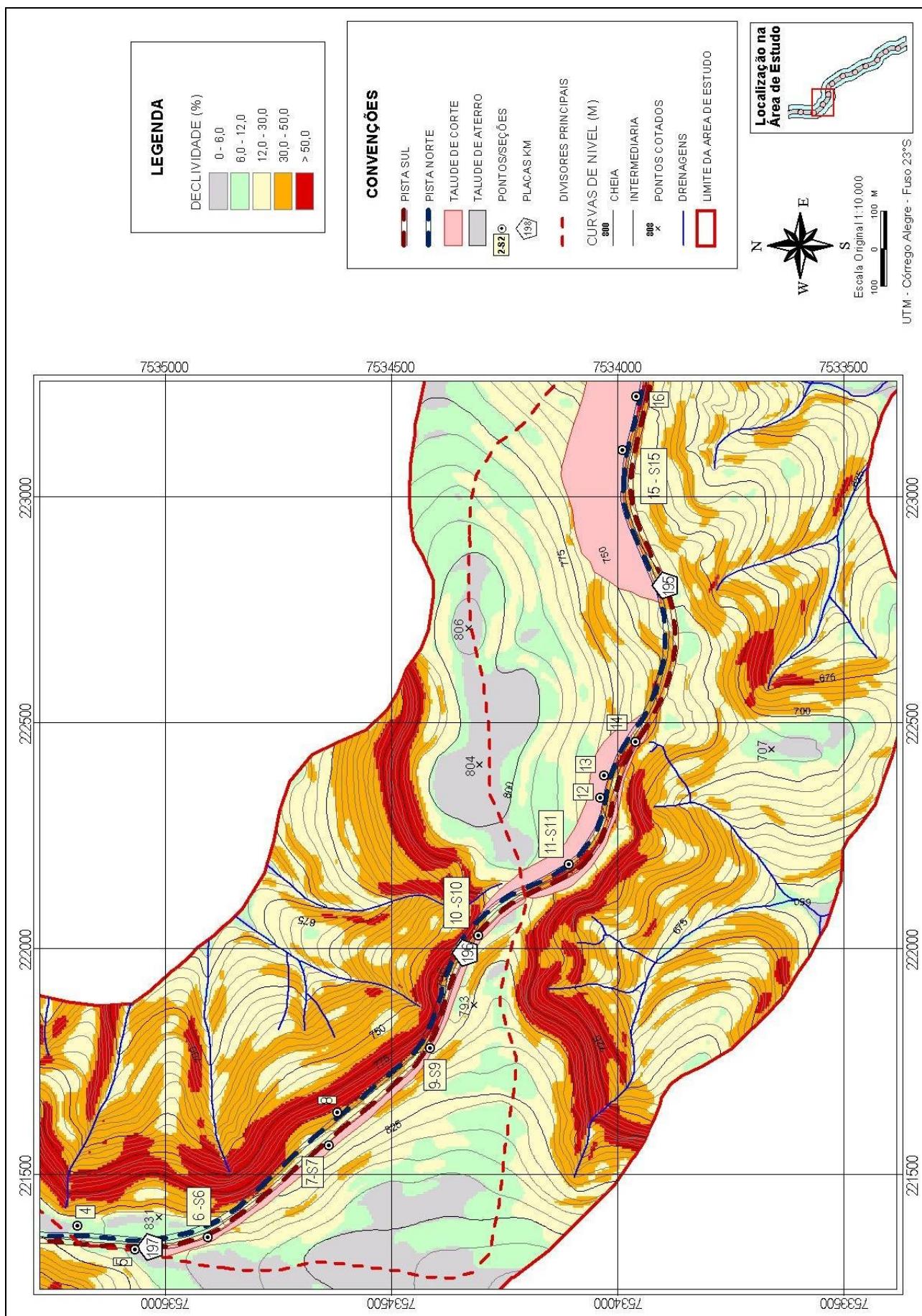


Figura 19: Parte do Mapa de declividade realizado em programa Arcview 3.2a

## 27. Mapa de Curvatura da Encosta

Este mapa leva em consideração três tipos de vertentes, quanto à forma de curvatura, denominadas côncava, plana e convexa. (Figura 20).

Neste mapa foi, feita a distribuição (em metros e em porcentagem) da área que ocupa cada um dos tipos de curvaturas de encostas dentro do limite da área estudada, resultando na Tabela 10. A maior freqüência da área em relação à área total encontra-se em curvaturas de encostas convexas (41,5%) e a menor em áreas planas (26%).

Tabela 10- Distribuição das classes de curvaturas em % e em m<sup>2</sup>.

Curvatura de encosta	Área	
	(m <sup>2</sup> )	%
Côncava	3824790,6	32,5
Plana	3068284,1	26,0
Convexa	4886975,3	41,5
Total	11780050,0	100,0

Este mapa foi um dos atributos necessários para auxiliar a obtenção do potencial de instabilização na área estudada, conforme foi explicado no item 4.7. As formas de curvatura de encosta foram obtidas a partir da ferramenta *Curvature* do programa *Arcinfo* 7.1.

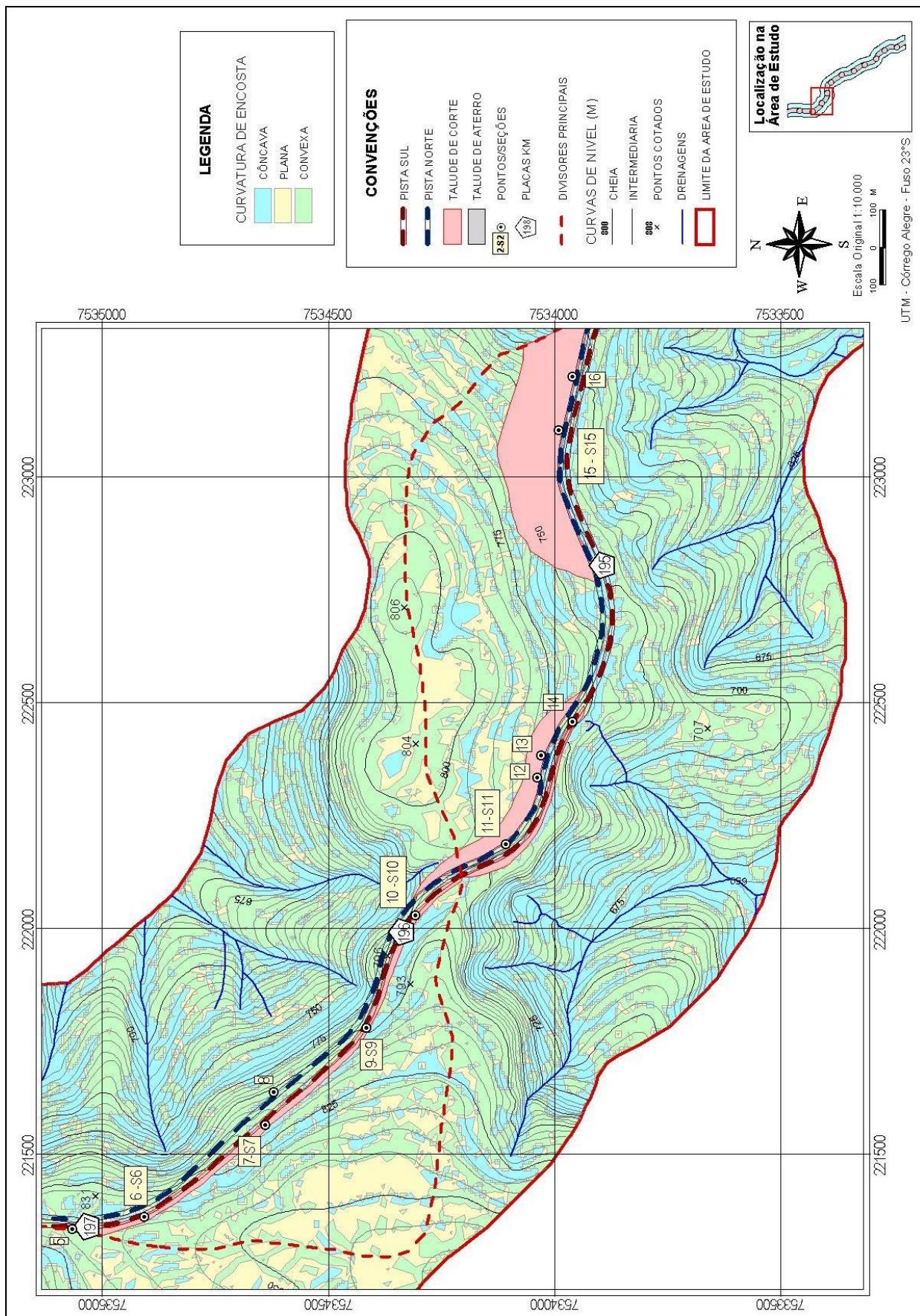


Figura 20: Parte do Mapa de Curvatura da Encosta

## 28. Mapa de Direção das Vertentes

O Mapa de Direção das Vertentes evidencia, na área estudada, as seguintes situações: encostas planas (ou seja, os topos), encostas com mergulho para o norte, para nordeste, para oeste, para sudeste, com mergulho para sul, para sudoeste e para noroeste. (Figura 21)

A faixa de variação de cada uma das direções das vertentes encontra-se na tabela 11.

Tabela 11 - faixa de variação em graus de cada uma das direções das vertentes.

Direção das Vertentes	faixa de variação °
Plano	-1
Norte	0-22,5 a 337,5-360
Nordeste	22,5 a 67,5
Este	67,5 a 112,5
Sudeste	112,5 a 157,5
Sul	157,5 a 202,5
Sudeste	202,5 a 247,5
Oeste	247,5 a 292,5
Nordeste	292,5 a 337,5

Este mapa foi utilizado com o intuito de facilitar o entendimento estrutural da área, simplificando o trabalho de obtenção do potencial de instabilização. Foi também estabelecido o cálculo (em  $m^2$  e em %) da área que ocupa cada uma das direções das vertentes dentro do limite da área estudada, resultando na Tabela 8. Analisando-se esta tabela, verifica-se facilmente que há um predomínio de freqüência de áreas de direções de encostas com mergulho

para sudoeste (16,9%), seguidas de direções de encostas com mergulho para este (12,6%) e finalizando com direções de encostas com mergulho para noroeste com apenas 8,7% de freqüências das áreas em relação a área total de estudo. (Tabela 12)

Tabela12- Distribuição das áreas em m<sup>2</sup> e em % da direção das vertentes.

<b>Direção das Encostas</b>	<b>Área</b>	
	<b>(m<sup>2</sup>)</b>	<b>%</b>
Plano	781456,6	6,6
Norte	1033876,2	8,8
Nordeste	1351502,5	11,5
Este	1484262,8	12,6
Sudeste	1429779,0	12,1
Sul	1331382,1	11,3
Sudoeste	1987480,5	16,9
Oeste	1359470,2	11,5
Noroeste	1020840,1	8,7
Total	11780050,0	100,0

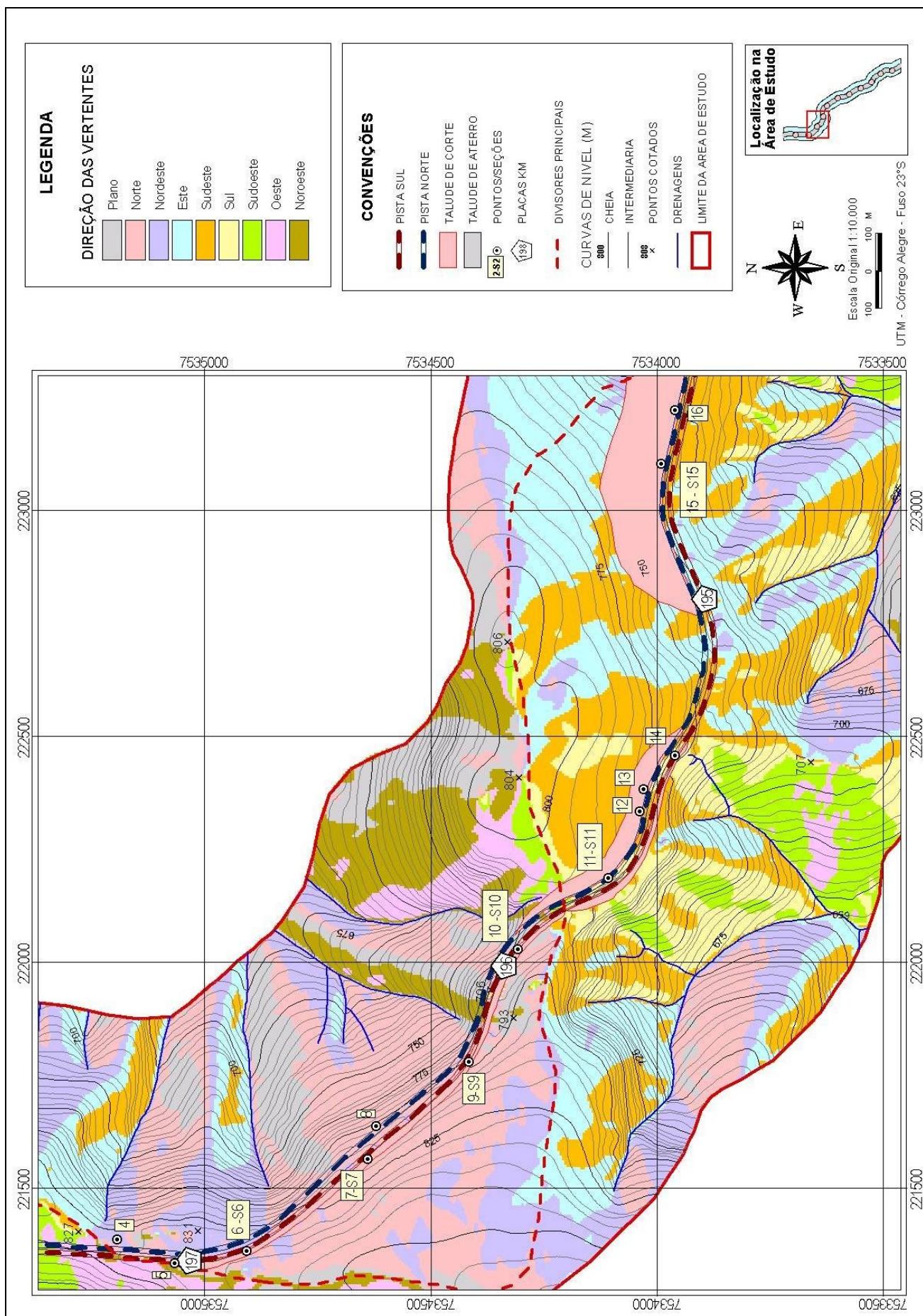


Figura 21: Parte do Mapa de Direção das Vertentes realizado em programa Arcview 3.2a.

## 29. Mapa de Materiais Inconsolidados

O Mapa de Materiais Inconsolidados, do trecho analisado, apresenta os materiais residuais das formações Serra Geral, Botucatu, Pirambóia e Corumbataí e Materiais retrabalhados mistos e depósitos aluvionares (Figura 22).

Não há presença de grandes estruturas geológicas (falhamento) neste mapa, os materiais encontram-se de forma contínua. A classe denominada depósitos aluvionares foi obtida através de fotointerpretação das fotografias áreas em formato digital a escala de 1:5.000.

Foi também estabelecido o cálculo (em m<sup>2</sup> e em %) da área que ocupa cada uma das unidades de materiais inconsolidados dentro do limite da área estudada, resultando na Tabela 13. Observa-se um predomínio dos materiais inconsolidados da Formação Pirambóia (46%), finalizando-se com os materiais retrabalhados mistos (com 7% das freqüências de áreas em relação à área total) e os depósitos aluvionares (com apenas 4,1% das freqüências de áreas em relação à área total).

Tabela 13- Distribuição das classes de materiais inconsolidados na área de estudo.

<b>Unidade de Material Inconsolidado</b>	<b>Área</b>	
	<b>(m<sup>2</sup>)</b>	<b>%</b>
Aluvião	485683,2	4,1
Retrabalhado Misto	820380,8	7,0
Solo Residual de Basalto - F. Serra Geral	1576992,8	13,4
Solo Residual de Arenito Eólico – F. Botucatu	2078276,8	17,6
Solo Residual de Arenito Fluvial – F. Pirambóia	5420966,3	46,0
Solo Residual de Argilito/Siltito Marinho – F. Corumbataí	1397750,0	11,9
Total	11780050,0	100,0



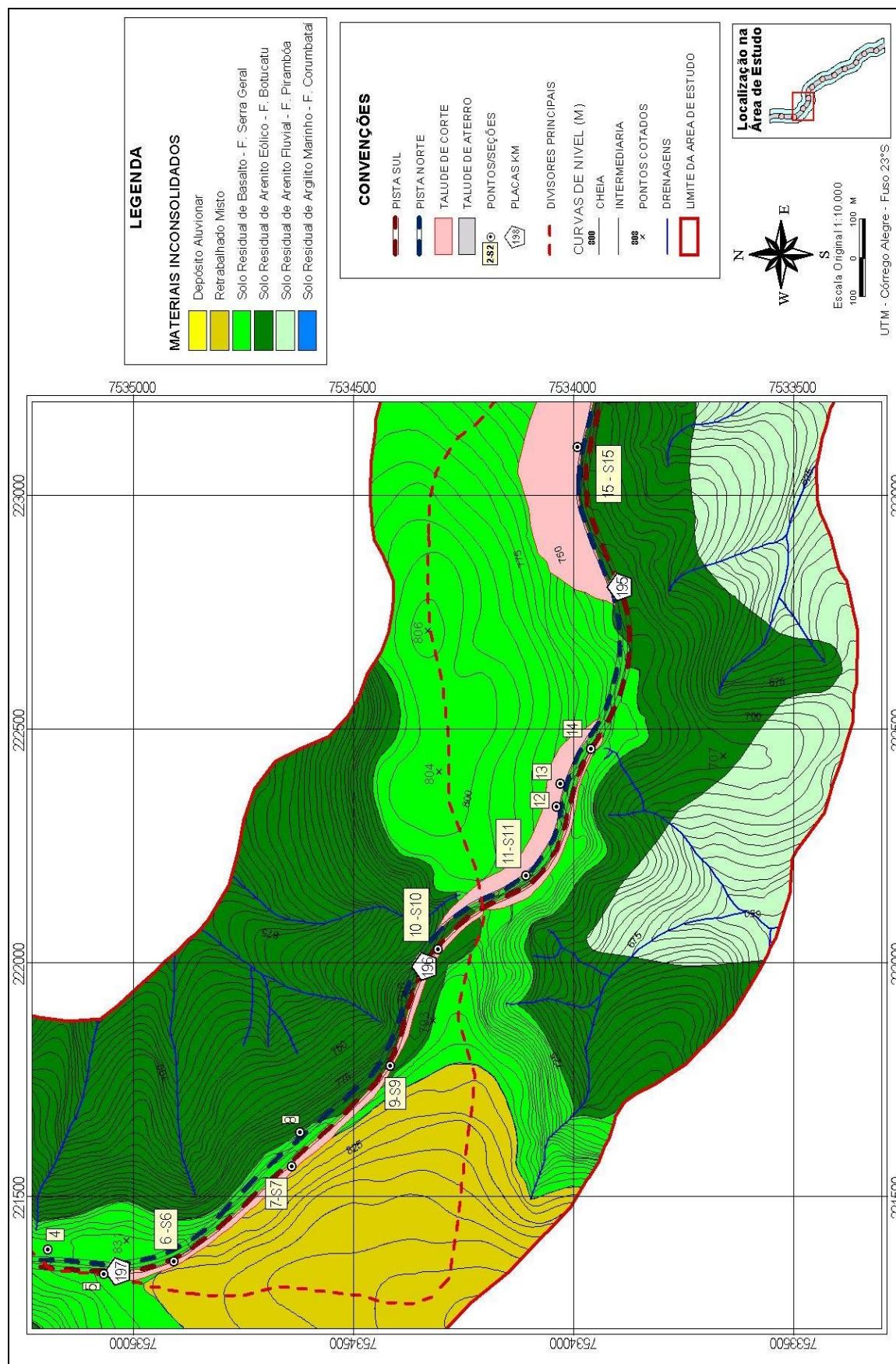


Figura 22: Parte do Mapa de Materiais Inconsolidados adaptado de Nishiyama (1991) e realizado em programa ArcView 3.2 a

## 30. Trabalhos de Campo

Com o intuito de ampliar os conhecimentos sobre as condições de estabilidade dos taludes estudados, fez-se, desde as primeiras etapas de campo, uma análise atenta sobre a origem do solo presente em cada talude.

Para a definição da origem residual ou transportada adotou-se os seguintes critérios: 1- **presença de linha de seixos**, indicando solos de origem transportada e 2- **estruturas reliquias** como sendo de solos de origem residual (NISHIYAMA, 1991). Na área em questão, encontram-se solos residuais das formações Botucatu, Pirambóia, Corumbataí e Serra Geral, como também os solos denominados retrabalhados mistos, de origem transportada. Em campo comprovou-se o predomínio dos materiais inconsolidados de origem residual.

Já na segunda etapa dos trabalhos de campo, se utilizou a classificação de perfis de alteração proposta por Vaz (1996), para a realização das seções geológico-geotécnicas. Este autor propõe uma classificação com base em um perfil de intemperismo definido a partir de processos de escavação e de perfuração, com dois horizontes de solos e três de rocha, começando-se pelos solos da classe S1 ou Solo Eluvial (SE).

Utilizando a ficha de campo (Anexo 1) e classificação de Vaz (1996) obteve-se o entendimento das unidades do perfil de intemperismo presente e todos os problemas ocorrentes foram observados e cadastrados.

## 31. Perfis de Alteração Identificados

- **Classe S1 – Solo Eluvial (SE)**

O horizonte S1 foi chamado pelo autor de solo eluvial ou eluvionar (SE), e caracteriza a camada superior do solo residual cuja diferenciação foi feita a partir de processos pedogenéticos. Primeiramente esta camada foi chamada por Vaz (1969 *apud* 1996), de solo superficial. O termo superficial é geralmente associado à superfície do terreno, indiferente da sua origem geológica e é chamado, por alguns autores, de solo residual maduro e, por outros autores, de

laterítico. A classe S1 encontra-se presente na área de estudo no Pto 9/ seção 9, Pto 10 / seção 10, Pto 11/ seção 11, Pto 15 / seção 15, Pto 18/ seção 18 (Figura 23), Pto 21/ seção 21, Pto 28/ seção 28.

Este solo é sempre heterogêneo em relação à cor, textura, e composição mineralógica. No que diz respeito a comportamento em obras civis esta classe de solo possui um comportamento homogêneo, apresentando, no entanto, heterogeneidades sob o ponto de vista pedológico.

O comportamento isotrópico destes solos pode ser afetado com a presença de feições superimpostas decorrentes da evolução pedogenética e de outros fatores como, por exemplo, a presença de canalículos, principalmente no que se refere à permeabilidade. Para o caso de solos eluviais espessos, a evolução pedogênica pode não ser uniforme, variando com a profundidade, sendo que algumas propriedades do solo também poderão sofrer variação como, por exemplo, aquelas que dependem do índice de vazios, que diminuem com a profundidade.



Figura 23: Solo superficial (S1 Pi), Pto 18/ seção 18

- **Classe S2 – Solo de alteração (SA)**

Este horizonte é denominado de solo de alteração devido à camada estar ainda em processo de alteração intempérica, com processos pedogênicos incipientes ou muito limitados. São utilizados na literatura, três termos para definir este horizonte de solo denominado solo de alteração, saprolito ou solo residual jovem. A classe S2 encontra-se presente nas seções geológico-geotécnicas 02/ Pto 2, Pto 9/ seção 9, Pto 10/ seção 10, (Figura 24), Pto 11/ seção 11, Pto 15/ seção 15, Pto 18/ seção 18, Pto 21/ seção 21, Pto 28/ seção 28.

O solo de alteração é heterogêneo em relação à cor, textura e composição mineralógica. Esta propriedade é decorrente da manutenção do arranjo mineral em relação à disposição original na rocha matriz, fazendo com que tanto minerais neo-formados como os já presentes na rocha ocupem os mesmos lugares e posições exibidos na rocha original. Outro fator igualmente importante que contribui para este comportamento heterogêneo é que as estruturas presentes na rocha encontram-se preservadas no solo de alteração, significando que os planos que as constituem são reconhecíveis no solo.

A heterogeneidade e anisotropia destes solos são facilmente constatadas pela típica coloração variegada dos mesmos. A cor pode apresentar-se visualmente homogênea, quando se tratar de solos derivados de rochas de granulação fina desprovidas de estruturas, porém, nestes casos, um exame rápido com a lupa revelará a estrutura original preservada da rocha.



**Figura 24: Solo de alteração S2 Ba na crista do talude de corte da seção Pto 10/ Seção 10.**

- **Horizontes de rocha – Classe R3 – Rocha alterada Mole (RAM)**

Este horizonte foi assim denominado devido a propriedade de ser escavado manualmente, com picareta ou com o bico do martelo de geólogo, ou ainda mecanicamente, com o auxílio do escarificador. Nas sondagens à percussão o material poderá ser lavado no processo de perfuração e o horizonte poderá estar ausente nos perfis de intemperismo, porém quando o perfil de intemperismo é muito evoluído isto não ocorre, podendo a espessura de RAM ser superior a 10 metros. Esta classe ocorre na área de estudo no Pto 15/ seção 15.

- **Classe R2 – Rocha alterada dura (RAD)**

O critério utilizado para a separação entre as classes de Rochas R3 e R2 é o limite entre escavação com a picareta e escarificador, exigindo explosivos para o desmonte. No RAD os minerais apresentam-se levemente descoloridos mais notavelmente ao longo de fraturas com passagem de água. Encontram-se exemplos de Rocha Alterada Dura na área de estudo no Pto 9/ Seção 9. (Figura 25)



**Figura 25: Rocha Alterada Dura R2 Ba, Pto 9/ Seção 9.**

- **Classe R1 – Rocha sã (RS)**

A distinção entre RAD e Rocha Sã (RS) é feita através de alteração intempérica, visto que os processos de escavação, com explosivo e de perfuração com rotativa, são os mesmos para ambos os tipos.

O horizonte de RS apresenta os minerais sãos ou praticamente sãos com suas cores e resistências originais ou pouco afetadas.

- **Solos de origem transportada**

Para os solos de origem transportada, o autor propõe uma classificação de acordo com seu processo de origem, possuindo estes solos uma característica comum, a de serem recentes. Um exemplo destes solos são os aluviões (AL), terraços fluviais (TR), coluviões (CO), depósitos de tálus (TT), sedimentos marinhos (SM) e solos eólicos (SO). Foi encontrado em campo, nas seções levantadas, os solos coluviões (CO) nas seções geológico-geotécnicas Pto 6 / seção 6 e Pto7/ seção 7 como também depósitos de tálus nas seções Pto 11/ seção 11 e Pto 12/ seção 12.

## **32. Seções Geológico-Geotécnicas**

Também foram realizadas seções geológico-geotécnicas dos taludes de corte e aterro, obtidas por levantamentos sistemáticos de superfície. (Figuras 26 e 27). A Tabela 14 resume as principais características das seções levantadas.

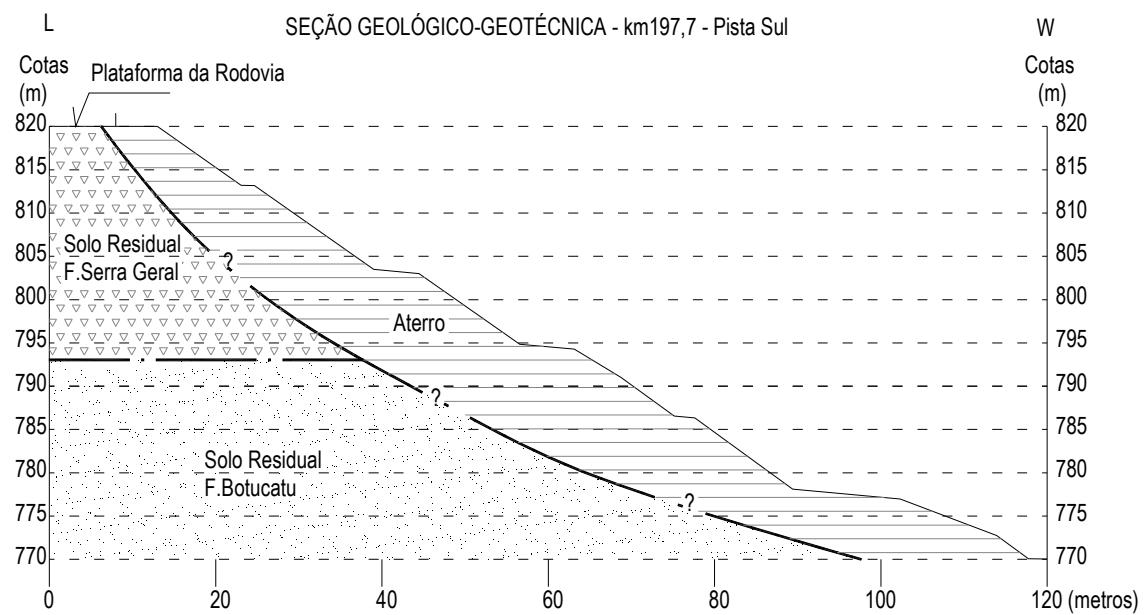


Figura 26: Seção geológico-geotécnica 23 (km 197+700, pista sul).



Figura 27: Vista lateral do talude de aterro onde foi realizada a seção 23.  
Notar as feições de rastejo e erosões presentes.

Tabela 14- Seções dos taludes de corte e aterro.

Seção	Localização	Descrição
1	Pista Sul km: 198 Cota*: 812,9 221425E; 7536036N	Talude aterro h= 7,9 m; i = 35°, solo de alteração (S2 Ba) da F. Serra Geral Inclinação acentuada e movimentação do aterro
2	Pista Sul km: 197+700 Cota*: 813,8 221393E;7535760N	Talude aterro h= 48,8 m; i = 30 °, solo superficial (S1Ba e S1 Bt) presente da F. Serra Geral e Botucatu erosão em sulcos nas bermas do talude
6	Pista Sul km: 196+850 Cota*: 835,8 221354E 7534907 N	Talude corte h= 8,33 m; i = 44 °, Solo tranportado coluvionar (S2 Corm)
7	Pista Sul km: 196+ 500 Cota*: 820,1 221539E; 7534621N	Talude corte h= 14 m; i = 90 °, Solo transportado coluvionar (S2Corm), solo de alteração do basalto (S2 Ba) e rocha alterada mole (R3 Ba) Erosão associada a obras de drenagem e escorregamento- evolução da erosão
9	Pista Sul km: 196 +300 Cota*: 810.6 221752E;7534369 N	Talude corte h= 12,81 m; i = 90 ° solo superficial (S1 Ba) acima da berma superior, solo de alteração (S2 Ba) e rocha alterada dura (R2 Ba) no talude inferior. Queda de blocos por estruturas residuais.
10	Pista Sul km: 196 +300 Cota*: 792,2 221990E;7534279N	Talude corte h= 10,5 m; i = 51° Solo Superficial (S1 Ba) e Solo de alteração (S2 Ba) com proteção vegetal com gramínea
11	Pista Sul km: 195+690 Cota*: 766,9 222148E;7534089 N	Talude corte h= 17,95 m; i = 45°. Solo superficial (S1 Ba) e Rocha Alterada Mole (R3 Ba), com inclinação média de 45°. Presença de surgência d'água e deposito de talus.
15	Pista Norte km: 194+ 670 Cota*: 720 223223E; N7533960	Talude corte h= 22,74 m; i = 51°. Solo de alteração (S2 Ba), solo superficial (S1 Ba) e Rocha Alterada Mole (R3 Bt). Erosão nas duas últimas bermas (superiores), canaleta não revestida, surgência d'água no pé do talude, na canaleta da primeira berma.
18	Pista Norte km: 191+450 Cota*: 621,1 224869E; N7531407	Talude corte h= 13,67 m; i =55°. Solo superficial (S1 Pi), sendo o talude de corte bem vegetado Ocorrência de um possível lençol suspenso, devido ao sistema de drenagem (escada d' água) e primeira berma se encontrarem saturados.
21	Pista Norte km: 190 Cota*: 621,1 224869E; N7530138	Talude corte h= 8,98 m; i =50 ° Solo superficial (S1 Pi) e Solo de alteração (S2 Pi) com problemas de canaleta de drenagem do talude superior sem revestimento e assoreada.
22	Pista Norte km: 189+710 Cota*: 636,8 225712E;N7530016	Talude corte h= 8,8 m; i =50 °. Solo de alteração (S2 Pi) da Formação Pirambóia,
23	Pista Norte km: 189+710	Talude aterro h= 8,2 m; i =26° Solo de alteração (S2 Pi) da Formação Pirambóia.

	Continua Cota*: 636,8 225712E;N7530016	
24	Pista Norte km: 189 Cota*: 619,2 226191E;N7529419	Talude corte h= 5,8 m; i =40 °. Solo de alteração (S2 Pi) da Formação Pirambóia,
25	Pista Norte km: 189+100 Cota*: 618,8 226191E;N7529419	Talude corte h= 8,8m; i =40 °. Solo de alteração (S2 Pi) da Formação Pirambóia, com problemas de erosão longitudinal a pista parcialmente corrigida.
26	Pista Norte km: 188+600 Cota*: 639,7 226369E;N7529022	Talude corte h= 15m i =65 °. Solo de alteração (S2 Pi) da Formação Pirambóia, e possível contato com Solo de alteração (S2 Co) da F. Corumbataí (base do talude), com problemas de Saturação na base
28	Pista Norte km: 187+500 Cota*: 625,2 226646E;N 7528035	Talude corte h= 9,8 m i =50 °. Solo Superficial (S1 Co) e Solo de alteração (S2 Co) da F. Corumbataí, com problemas de desagregação superficial (“empastilhamento”) e Canaleta de crista não revestida

\*Cota= Cota do início da seção na plataforma da rodovia.

Foram as seções geológico-geotécnicas que forneceram as informações necessárias à obtenção do potencial de acidente representado no Mapa de Potencial de Instabilização e Acidente e permitiram o conhecimento mais detalhado da disposição dos materiais inconsolidados no trecho analisado.

Foram levantadas 16 seções geológico-geotécnicas ao longo da área de estudo, no intuito de abranger todos os prováveis problemas geotécnicos e os tipos de materiais inconsolidados presentes na área.

### 33. Aspectos estruturais

Com a coleta dos dados de quatro famílias de fraturas (F1 a F4), efetuada nas seções 7 e 9, foi possível confeccionar estereogramas de contornos e diagrama de rosetas. Foi, ainda, plotada a direção de corte do talude.

**Família de Fraturas F1:** esta família de fraturas apresenta direção média entre N15W/ subvertical a N30W/ subvertical. (Figura 28)

**Família de fraturas F2:** com direção média entre N5W/11 SE a N85W/ 10 SE. Esta família é atribuída a uma junta de resfriamento.

**Família de fraturas F3:** apresenta direções médias de N40W / subvertical a N39W / subvertical.

**Família de fraturas F4:** com direção média de N5 a 20E/ subvertical.

Percebe-se nestas duas seções a possibilidade de ocorrência de feições de instabilização de escorregamento. Esta possibilidade se apresenta quando o ângulo da descontinuidade é menor do que o do corte, sendo que, no caso destas seções, as descontinuidades são juntas de alívio, (*sheet joints*) relacionadas à formação da rocha mãe (Basalto da Formação Serra Geral).

Na seção 7 não há presença de feições de instabilização de escorregamento relacionada a estruturas, no entanto identificou-se uma família de fraturas F2 relacionada à presença de uma junta de alívio pertencente ao limite do derrame. Nesta seção encontrou-se feições de escorregamento relacionadas a feições erosivas, que por sua vez são relacionadas à deficiência em obras de drenagens.

Na seção 9 observam-se feições de instabilização de escorregamento ocasionando queda de blocos decimétricos relacionados à intercessão da direção das descontinuidades das juntas de alívio com a direção do corte do talude.

Não há presença de feições de tombamento (*Toppling*) nas duas seções, pois apesar das mesmas apresentarem fraturas subverticais, o ângulo do talude de corte é maior do que os das direções destas famílias de fraturas.

A confecção destes estereogramas, a partir da direção de mergulho das famílias de fraturas em relação à direção do corte de talude, permitiu a classificação do Mapa de Direção das Vertentes em dois pesos: 0 - famílias que não contribuem para a ocorrência de feições de escorregamento na região e 1 - famílias que contribuem para a ocorrência de escorregamento.

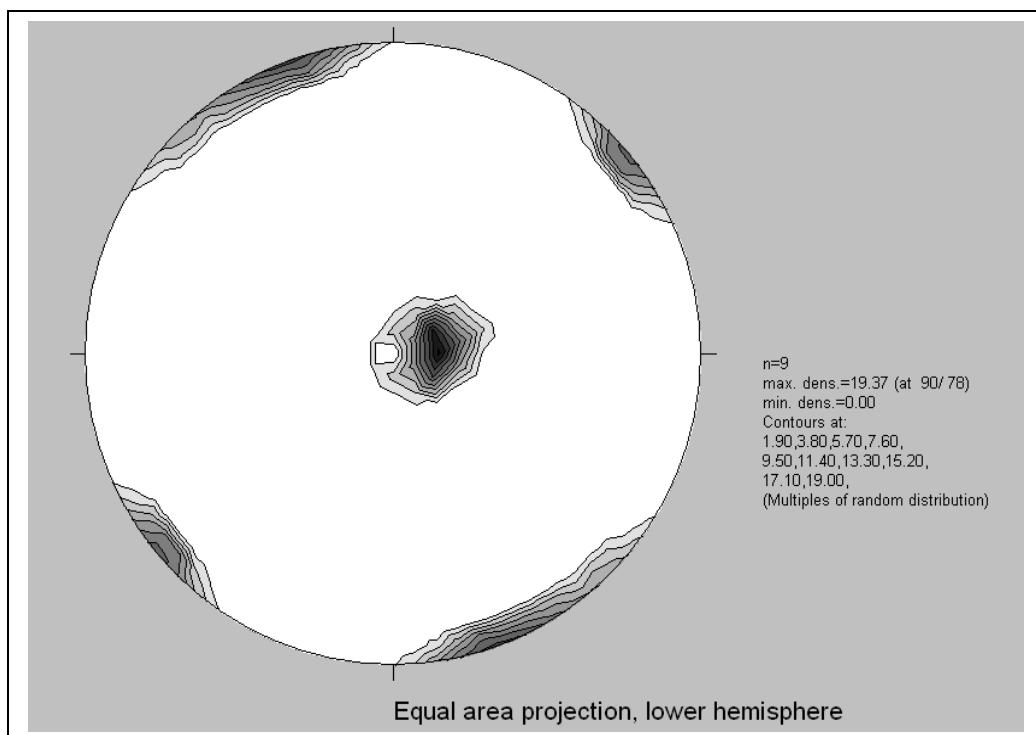


Figura 28: Estereograma de contorno da Família de fraturas F1

#### **34. Problemas geológico-geotécnicos encontrados nas seções levantadas em campo:**

Foram observados diversos problemas no trecho analisado, tanto relacionados ao tipo de material inconsolidado presente, estruturas residuais, quanto a problemas de geometria (inclinação acentuada) e obras de drenagem mal estruturadas e sem manutenção. Estes problemas serão relatados a seguir.

No Pto 28/ seção 28, em solo de alteração (S2 Co) da Formação Corumbataí encontram-se feições de desagregação superficial ou “empastilhamento” e erosão por desagregação superficial.

O Pto 1/seção 1, trata-se de um talude de aterro no quilômetro 198 da rodovia. Devido a problemas de inclinação acentuada do talude, há processo de recalque do aterro. (Anexo 1- Ficha Pto 01) Na seção 2/ Pto2, também localizada em aterro, no quilômetro 197+700, ocorrem feições de erosão em sulco nas bermas do talude, recalque, assim como áreas saturadas localizadas.

No Pto 7/ seção 7, ocorrem feições erosivas devido a obras de drenagem mal estruturadas. Há ocorrência de um escorregamento por evolução destas feições. (Figura 29)



Figura 29: Escorregamento causado por evolução da erosão associada por sua vez a obras de drenagem mal estruturadas.

Os Pto 9/ seção 9 e Pto 10/ seção 10, cujas seções foram feitas, respectivamente, sob taludes de corte em rocha e em solo, apresentam problemas de quedas de blocos decimétricos. (Figura 30) Estes problemas se devem a estruturas residuais presentes. Existem também problemas de erosão em Ravina e Boçoroca (Ficha Pto 10/ seção 10), como também escorregamento por evolução da erosão.



Figura 30: Queda de blocos decimétricos (em vermelho) de Rocha alterada dura (R2 Ba) da Formação Serra Geral km 196 +300, Pto 10/ seção 10.

Ainda nesta seção encontrou-se problemas de canaleta assoreada em crista do talude de corte. (Figura 31)



Figura 31: Canaleta de crista de talude revestida e assoreada. Pto 10/ seção 10.

O Pto 15 / seção 15, realizada sobre o maior talude de corte visto no trecho analisado, apresenta problemas de erosão em sulcos e escorregamentos, devido à inclinação acentuada do talude de corte, como também por evolução da erosão. Esta seção apresenta também áreas localizadas com surgências e áreas saturadas.

Problemas relacionados à manutenção e realização de obras na rodovia são observados nos Pto 21 / seção 21 e Pto25 / seção 25. Na primeira seção foram observados problemas de canaleta de drenagem do talude de corte superior, que não apresentava o devido revestimento e encontrava-se assoreada. Já na seção 25, foi verificada uma erosão longitudinal à pista parcialmente corrigida pela Centrovias.

Por último, foi encontrado no Pto 24 / seção 24 problemas de saturação da base do talude de corte sem, no entanto, ocorrência de problemas maiores.

A Centrovias vem realizando obras de manutenção ao longo do trecho estudado.

No Pto 21 / seção 21, encontra-se um redutor de energia, na crista do talude, conforme é visto na Figura 32. Esta obra foi mal estruturada, pois o talude de corte também apresenta canaleta de drenagem próximo à crista assoreada. Outros locais do trecho também mostram este tipo de obra, como por exemplo, no Pto 8, onde além do redutor de energia tem-se uma cortina atirantada (Figura 33 e 34).



Figura 32: Redutor de Energia Pto 21/ seção 21.



Figura 33: Redutor de Energia Pto 8



Figura 34: Cortina atirantada localizada ao lado do redutor de energia – Pto 8.

No Pto 4, localizado no Km 197+170, pista norte, observa-se uma obra de contenção (Cortina atirantada) realizada em aterro, com cota de 820 metros. Não foram encontrados problemas próximos à área onde foi realizada esta obra. (Figura 35)



Figura 35: Obra de contenção – Cortina atirantada

No Pto 14, observou-se, na primeira etapa de campo, um escorregamento condicionado pelas estruturas da rocha mãe (Basalto da Formação Serra Geral) em talude de corte. Porém, em uma última etapa de campo, percebeu-se que a concessionária responsável pela manutenção da via já havia realizado obras de contenção (gabião) neste talude. (Figura 36)



(a)



(b)

Figura 36: Escorregamento condicionado por estruturas (a) antes da realização da obra de contenção e (b) com o gabião.

Na pista Norte deste mesmo ponto, observou-se uma canaleta revestida com concreto associada a um redutor de energia, conforme mostrado na Figura 37.



Figura 37: Canaleta revestida com redutor de energia

No Pto 11 / seção 11, observa-se canaleta de drenagem revestida, sendo que o talude de corte também se apresenta saturado, porém sem nenhuma feição de erosão e escorregamento associado. (Figura 38)



Figura 38: Canaleta de drenagem revestida com saturação de água

No Pto 18/ seção 18, foram realizadas diversas obras de drenagem, como escada d'água (Figura 39), canaleta revestida de drenagem na base do talude e em sua primeira berma. Mesmo com estas obras observam-se áreas saturadas, relacionadas a um possível lençol suspenso de água. No entanto não há ocorrência de feições de erosão e escorregamento no talude de corte.



**Figura 39: Escada d'água, localizada no ponto 18/ seção 18, km 191+450.**

### **35. Mapa de Potencial de Instabilização**

A análise de multi-critério utilizada por Diniz (2004) e Augusto Filho (2005) foi aplicada as seguintes seqüências de pesos equação 01 e (Figura 38)

$$PI = \sum_N^I Pa_i \cdot Pca_i / \sum_i^n Pa_i \quad (01)$$

Onde:

PI = Peso final ponderado (associado o potencial relativo de instabilização);

$Pa_i$  = Peso do atributo;

$Pca_i$  = Peso da classe do atributo.

Os mapas temáticos foram então transformados em *grid*, a partir da ferramenta *Convert to grid*, os quais foram reclassificados com a ferramenta *Analysis – Reclassify*. Abriu-se, então, um novo *view* no projeto denominado potencial de instabilização e de acidente, onde se colocou os pesos das classes dos atributos escolhidos (Tabela 15), para a realização da ponderação dos atributos através da ferramenta *Map Calculation* (Figura 40).

Concomitantemente foram atribuídas duas seqüências de pesos aos atributos. A seqüência que se inicia com o peso 55 para a declividade foi adotada por representar melhor, no SIG, as regiões de alto potencial de instabilização à erosão e a escorregamento. Na tabela 15, se estabeleceu para materiais inconsolidados maior diferença entre as duas seqüências de pesos (10 e 20), pois no trecho analisado há um predomínio destes materiais em relação às áreas compostas por rocha.

Foram também atribuídos pesos às classes de atributos, sendo que os menores pesos estão associados aos melhores casos e os maiores associados aos piores casos. Estes pesos não foram atribuídos de forma linear.

Para obtenção do potencial de instabilização foram considerados de forma conjunta os processos de erosão e escorregamento. Isto se deve ao fato do potencial de instabilização ser obtido em uma escala semi-regional, através

de análise de multi-critério (média ponderada – equação 01), a partir dos quatro atributos considerados: declividade, curvatura de encostas, direção das vertentes e materiais inconsolidados.

Os pesos finais ponderados indicativos do potencial de instabilização foram classificados em cinco grupos: muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto.

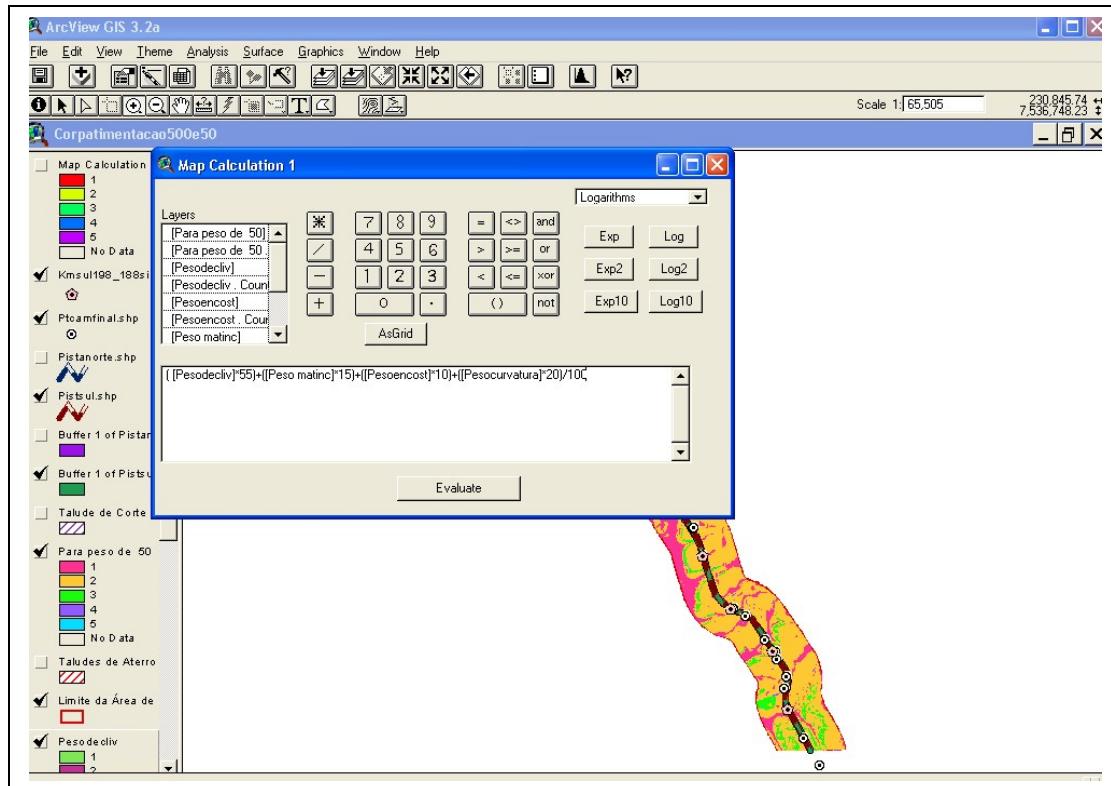


Figura 40: Procedimento utilizado para se calcular a ponderação de cada atributo escolhido em programa Arcview 3.2a.

Tabela 15- Atributos escolhidos para a realização do Mapa de Potencial de Instabilização.

<b>Atributo</b>		<b>Classe de atributo</b>	<b>Pesos das Classes dos atributos</b>
Declividade Pesos (55)	(50)	0-6	1
		6-12	2
		12-30	3
		30-50	5
		>50	7
Curvatura de encosta Pesos (25)	(20)	Convexa	1
		Plana	2
		Côncava	3
Materiais Inconsolidados Pesos (10)	(20)	Deposito Aluvionar	1
		Residuais F Serra Geral	1
		Residuais F Botucatu	2
		Residuais F. Corumbataí	3
		Retrabalhados Mistos	4
Direção das vertentes Pesos (10)	(10)	encostas planas, mergulho para o norte,	0
		para nordeste,	1
		para oeste,	1
		para sudeste,	0
		para sul,	0
		para sudoeste	0
		e para noroeste.	0

O potencial de instabilização alto e muito alto é predominante nas regiões Norte/ Nordeste do trecho analisado, nas seções 1, 2, 10, e 15, realizadas sobre taludes de aterro e corte (Anexo 1). O potencial de instabilização do maior talude de corte observado no trecho, representado no mapa pelo Pto 15 / seção 15, é alto o que se comprova em campo pelo cadastramento de problemas de erosão (em sulcos), escorregamento por inclinação acentuada e por evolução da erosão. Encontra-se erosão nas duas últimas bermas superiores e surgência no pé do talude na canaleta da primeira berma.

O potencial de instabilização baixo e muito baixo predomina nas seções 6, 7, 9, 11, 18, 21, 22 e 23, 24, 25, 26 e 28, situadas a Nordeste / Sul da área analisada. Os menores taludes de corte e aterro observados (com alturas totais de 5,8 e 8,8 metros respectivamente), apresentam potencial de instabilização baixo o que é também comprovado em campo. No ponto 24 (talude de corte) há somente a presença de regiões saturadas, sem maiores problemas

geotécnicos. Na seção levantada em seu entorno encontramos problemas de erosão – “caminho de vaca”.

O Pto 25/ seção 25 (menor talude de aterro observado), apesar do potencial de instabilização ser considerado baixo, apresenta problemas de erosão longitudinal à plataforma parcialmente corrigida pela Centroviás.

O Mapa de Potencial de Instabilização aliado às fichas de campo, permite a identificação e localização dos locais mais críticos, o que facilita o correto gerenciamento dos eventuais problemas.

Foi feita a distribuição de cada um dos potenciais de instabilização dentro do limite da área estudada, resultando na Tabela 16. Percebe-se um predomínio de áreas com potencial de instabilização baixo, seguidas de áreas com potencial de instabilização muito baixo (27,3%) finalizando com áreas de potencial de instabilização muito alto (2% da área total). A cada classe de potencial de instabilização foi associado um peso final ponderado.

Tabela 16- Distribuição das classes de Potencial de instabilização em m<sup>2</sup> e em %

PI	Potencial de Instabilização	Área	
		(m <sup>2</sup> )	%
1	Muito Baixo	3218752,7	27,3
2	Baixo	6962375,9	59,1
3	Médio	339380,3	2,9
4	Alto	1023998,7	8,7
5	Muito Alto	235542,4	2,0
<b>Total</b>		11780050,000	100,0

### **36. Mapa de Potencial de Acidente**

Para definição do potencial de acidente, estabeleceu-se uma faixa de 50 metros de cada lado da rodovia, considerada a região onde a deflagração de processos de erosão e escorregamento poderia afetar mais diretamente a obra, causando danos imediatos a mesma.

Esta área coincide com a faixa de domínio da rodovia estudada (SP-310). As faixas de domínio, em geral, também são utilizadas como Áreas Diretamente Afetadas (ADA) nos licenciamentos ambientais de rodovias.

Foi feita uma tabela, denominada Chave para Obtenção do Potencial de Acidente, para todas as seções levantadas e analisou-se separadamente o potencial de acidente a problemas de escorregamento e erosão, pois as informações foram obtidas em escala de detalhe a partir de seções geológico-geotécnicas. Este enfoque norteou a confecção da Tabela 17.

Tabela 17 – Chave para Obtenção do Potencial de Acidente

Seção	Pista	Tipo	Material	Altura (m)	inclinação média (º)	Fator Geométrico	Problemas	Potencial de instabilização	Potencial de Acidente		Cor no mapa
									erosão	escorregamento	
Pto 1 Km198	SUL	Aterro	AT/S2Ba	7,9	35	B	inclinação acentuada do aterro e movimentação do aterro	Alto	Baixo	Médio	Amarelo
Pto 2 Km197+700	SUL	Aterro	AT/S1Ba/S1Bt	48,8	30	A	sulcos	Muito Alto	Alto	Alto	Vermelho
Pto 6 Km196+850	SUL	Corte	S2 Corm	8,33	44	B	Não	Baixo	Baixo	Baixo	Verde Claro
Pto 7 Km 196+ 500	SUL	Corte	S2 Corm/ S2Ba R3Ba	14	90	M	Erosão associada a obras de drenagem e Escorregamento por evolução da erosão	Muito Baixo	Alto	Alto	Vermelho
Pto 9 Km196 +300	SUL	Corte	S1 Ba/ S2Ba R2Ba	12,81	90	M	Queda de blocos por estruturas residuais	Baixo	Baixo	Médio	Amarelo
Pto10 Km196	SUL	Corte	S1 Ba/ S2Ba	10,5	51	M	Erosão em ravina/boçoroca e Escorregamento por evolução da erosão	Muito Alto	Alto	Alto	Vermelho
Pto 11 Km195+690	SUL	Corte	S1 Ba/ S2R3Ba	17,95	45	A	Não	Baixo	Baixo	Baixo	Verde Claro
Pto 15 Km 194+ 670	NORTE	Corte	S1 Ba/ S2Ba S2R3Bt	22,74	51	A	Sulcos, escorregamento por inclinação acentuada e evolução da erosão	Alto	Alto	Alto	Vermelho

Rota 18 Km 191+450	NORTE	Corte	S1 Pi	13,67	55	M	Não	Baixo	Baixo	Baixo	Verde Claro
Pto 21 Km190	NORTE	Corte	S1 Pi S2Pi	8,98	50	B	problemas de canaleta de drenagem do talude de corte superior sem revestimento e assoreada	Baixo	Médio	Baixo	Amarelo
Pto 22 Km 189+710	SUL	Corte	S2Pi	8,8	50	B	Não	Baixo	Baixo	Baixo	Verde Claro
Pto 23 Km 189+300	SUL	Aterro	S2Pi	8,2	26	B	Não	Baixo	Baixo	Baixo	Verde Claro
Pto 24 Km 189	NORTE	Corte	S2Pi	5,8	40	B	Saturação na base do talude	Baixo	Baixo	Baixo	Verde Claro
Pto 25 Km 189+100	NORTE	Aterro	AT/S2Pi	8,8	40	B	erosão longitudinal a pista parcialmente corrigida	Baixo	Médio	Baixo	Amarelo

O Mapa de Potencial de Acidente mostra o resultado de uma análise de trechos da rodovia (entre a área de influência de cada tipo de talude-corte e aterro), permitindo um entendimento mais detalhado dos processos (erosão / escorregamento) que ocorrem na faixa de domínio, pois ele é baseado em informações obtidas nas seções levantadas. Este mapa associado ao Mapa do Potencial de Instabilização permite em um mesmo mapa, tanto uma visão regional quanto de detalhe.

Percebe-se que a metodologia adotada permite identificar, a partir de informações obtidas pelo potencial de acidente, áreas mais críticas dentro de áreas consideradas menos críticas quando analisadas do ponto de vista do potencial de instabilização. Esta diferença ocorre pois para a análise do potencial de acidente, são consideradas as informações obtidas em cada seção geológico-geotécnica, além do fator geométrico (altura e inclinação média) dos taludes de corte ou aterro e os problemas observados em campo. Um exemplo disto é o do Ponto 7 / seção 7, situada em talude de corte, onde o potencial de instabilização obtido por análise de multi-critério é muito baixo e o potencial de acidente quanto à erosão e escorregamento é alto.

Para uma melhor localização das áreas de potencial de acidente, tanto médias quanto altas, (que são as de maior prioridade quando do gerenciamento e manutenção de uma via), montou-se a Tabela 18 com a localização (quilometragem) destas áreas, o tipo de talude e o respectivo potencial de acidente.

Tabela 18 - Localização (em quilômetros), tipo de talude, extensão, percentagem da área total, dos potenciais de acidente médio e alto – Pista Sul (a) e Pista Norte (b)

Quilômetros	Tipo	Extensão	% em relação à extensão total do trecho	Potencial de Acidente - Pista Norte
195+951 a 195+218	Corte	733	6,26	Médio Escorregamento
195+218 a 194+405	Corte	813	6,94	Alto - Erosão e Alto Escorregamento
190+280 a 189+366	Corte	914	7,80	Médio Erosão
Total		2460	21,00	

(a)

Quilômetros	Tipo	Extensão	% em relação à extensão total do trecho	Potencial de Acidente – Pista Sul
198 + 146 a 197+ 888	Aterro	258	2,20	Médio - Escorregamento
197+ 888 a 197+ 634	Aterro	254	2,17	Alto - Escorregamento e erosão
196+ 806 a 196+374	Corte	432	3,69	Alto - Escorregamento e erosão
196+ 374 a 196+ 070	Corte	304	2,59	Médio - Escorregamento
196+ 070 a 195+ 815	Corte	255	2,18	Alto – Escorregamento e erosão
195+815 a 195+303	Corte	512	4,37	Médio - Escorregamento
189+149 a 188+ 700	Aterro	449	3,83	Médio – Erosão
188+700 a 188+412	Corte	288	2,46	Médio – Erosão
187+881 a 187+255	Corte	626	5,34	Médio – Erosão
Total		3378	28,83	

(b)

### 37. CONCLUSÕES

O trabalho apresenta como produto final um Mapa de Potencial de Instabilização de Taludes na Rodovia Washington Luís, entre os quilômetros 187+255 a 198+970, determinado a partir dos atributos de declividade, direção das encostas, curvatura de encostas e materiais inconsolidados, analisados segundo técnicas de multi-critério.

A metodologia adotada nesta pesquisa combina as técnicas de cartografia digital, SIG, método multi-critério (DINIZ, 2004; AUGUSTO FILHO, 2005) e levantamentos sistemáticos de campo com elaboração de seções geológico-geotécnicas, com trena e inclinômetro. Este método possibilitou a caracterização da geometria dos taludes de corte e aterro e propiciou a identificação e caracterização dos processos de instabilidade existentes e potenciais em escala de detalhe e semi-detalhe.

A adoção do método multi-critério permitiu a variação dos pesos de acordo com a significância dada a cada atributo. Isto resultou em uma melhor setorização da área de estudo, apresentando como vantagem a possibilidade de diferentes cenários, ou seja, a geração de diversos mapas em um mesmo tema no Arcview 3.2a, porém priorizando diferentes atributos.

Contudo, a subjetividade na atribuição de pesos pode ser vista como uma desvantagem deste método, pois aqui estes pesos podem variar devido ao grau de experiência do avaliador, observações de campo e fatores controladores de feições de instabilidade.

No trecho analisado, identificaram-se cinco classes de potencial de instabilidade - muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto e três classes de potencial de acidente - baixo, médio e alto (na área diretamente afetada da rodovia, ou seja, na faixa de 50 metros). O potencial de acidente foi obtido a partir das informações das seções e do perfil de alteração e expresso em termos de extensão e de porcentagem de área em relação à área total.

A principal dificuldade encontrada refere-se ao grande volume de trabalho e tempo demandado para a preparação e adequação da base de dados no formato digital, necessária para o desenvolvimento do estudo. A base de dados digital, resultante do desenvolvimento do método pode, no entanto,

consistir um poderoso instrumento para as ações de gestão da rodovia e, em particular, das suas obras de terraplenagem.

Considerando-se a totalidade dos trabalhos desenvolvidos e os resultados obtidos constata-se que a metodologia utilizada resultou apropriada para a obtenção do potencial de instabilização e acidente em taludes rodoviários.

### 38. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F.F.M de. **Fundamentos Geológicos do Relevo Paulista.** São Paulo: Instituto de Geografia, (Série Teses e Monografias), Universidade de São Paulo, 1964. 99p.

ALMEIDA, L.C.R. et al. **Mapeamento para cadastro de pontos de alto risco geológico-geotecnico em vias publicas:** o exemplo da avenida Menezes Cortes – RJ. In: 3º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica. Anais Florianópolis ABGE/UFSC/LAMGEO, Florianópolis 1998.

ALVARENGA, M.M., CARMO, J.C.. **Alguns problemas de estabilidade de Talude de corte em materiais residuais de rocha Gnáissica.** 1º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 1977, p.117-129.

AUGUSTO FILHO, O. **Caracterização Geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica.** 1ª Conferencia Brasileira Sobre Estabilidade de Encostas , Rio de Janeiro, 1992.

AUGUSTO FILHO, O. **Escorregamentos..** In: Encontro Técnico Cesp/Ipt: O Meio Físico Nos Estudos Ambientais De Projetos Hidrelétricos, Paraibuna. São Paulo: Anais, 1994. p. 57-61.

AUGUSTO FILHO, O. **Deslizamientos.** Aspectos Geologicos de Proteccion Ambiental. v.2, Campinas ,1995, p.29-47.

AUGUSTO FILHO,O.; VIRGILI,J.C.. **Estabilidade de Taludes.**Geologia De Engenharia, São Paulo, ABGE 1998 ,p.243-269.

AUGUSTO FILHO,O.; **Análise da potencialidade de geração de corridas de Massa nos trechos serranos do duto osbat.** 11º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental , novembro de 2005, Florianópolis, SC

BELLIA, V., BIDONE, E. D. **Rodovias, recursos naturais e meio ambiente.**Niterói, Brasília: EdUFF; DNER, 1993.

BENJAMIN, J.R., CORNELL, C.A., **Probability, Statistics and Decision for Civil Engineers,** New York, McGraw-Hill Book Company, 1970.

BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R.A. **Principles of geographical information systems.** Oxford, Oxford University Press, 1998.

COELHO NETTO, A. L. **Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia.** In: GUERRA, Antônio J.T.; CUNHA, Sandra B. da. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994.

COSTA NUNES, A.J.. **Recuperação de estradas atingidas por chuvas muito intensas.** 1982. In: ENGENHARIA GEOTECNICA. P 228-49. Grafine Editora Ltda, Rio De Janeiro, 1982.

CRUDEN, D.M., VARNES, D.J.. **Landslides types and processes. 1996.** In **Landslides Investigation and Mitigation.** 1996. National Academy Press. Washington DC. 1996. P 36- 75 (Special Report , 247).

CRUCHET, M, NEDELLEC, J.L.. **Gestion des risques de mouvements de Terrain affectant les routes du Cirque de Salazie (Ile de la Reunion France).** Géoline, Lyon France, Maio de 2005.

DINIZ, N.C., PARIZI, C.C. **Metodologia para avaliação de áreas para implantação de habitação de interesse social.** 5º Simpósio de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, São Carlos, 2004, 535 p.

DNER **Manual de pavimentação.** Departamento Nacional de Estradas e Rodagens, Rio de Janeiro, 1996.

ENGECORPS, PLANEG – CORPO DE ENGENHEIROS CONSULTORES LTDA, PLANEJAMENTO, ENGENHARIA E GEOTECNIA S/C – 1997. **Relatório de atividades n.4-** São Paulo, 1997. p. irreg.

ESRI Disponível em <http://support.esri.com/index.cfm?fa=knowledgebase.techarticles.articleShow&d=18964>.

FERNANDES, C.E.M., TEIXEIRA, H.A.S, CADMAN, J.D., BARROSO, J.A.. **Estudos Geológicos- Geotécnicos para estabilização de taludes de corte na BR- 277- Serra da Esperança – PR.** Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia. Anais: Itapema, Santa Catarina, 1981.

FERNANDES, N.F.; GUIMARÃES, R.F.; GOMES, R.A.T; VIEIRA, B.C.; MONTGOMERY, D.R.; GREENBERG, H. **Condicionantes Geomorfológicos dos deslizamentos nas encostas: Avaliação de Metodologias e aplicação do Modelo de Previsão de áreas Sensíveis.** Revista Brasileira de Geomorfologia, UGB ano 2 n 1 2001p.51-71

FREIRE, E.S.M. **Movimentos coletivos de solos e rochas e sua moderna sistemática.** Rio de Janeiro, Revista Construção, 1965. p, 10-18.

GARIBALDI, C.M. **Gestão de passivos ambientais associados a escorregamentos em rodovias: contribuições ao cenário metodológico.** 2004 Tese de Doutoramento 287 p, São Paulo.

GOODMAN, R.E. **Methods of Geological Engineering in Discontinuous Rock** - West Public, 1976.

GOODMAN, R.E. - **Introduction to Rock Mechanics** - John Wiley & Sons, 1980.

GOOGLE EARTH (2007). – Imagem de satélite dos quilômetros 198 a 187+050 – Rodovia Washington Luiz, Estado de São Paulo.

GUIDICINI, G. NIEBLE, C.M.. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação.** São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1976.

HACHICH, W.C. **Sobre a segurança nos projetos de Geotecnia, Ano de 1978.** 1978, São Carlos, Dissertação de Mestrado. Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos – USP.

HASEGAWA (1985) [Processes in the Holocene Development of Coastal Ridges in Japan](#). Disponível no site <http://www.review.keio-up.co.jp>

HASUI, Y. and MIOTO, J. A. 1992. **Geologia Estrutural Aplicada.**, S. Paulo, Associação Brasileira de Geologia de Eng: 459 p.

HERRMANN, M.L.P.; DIAS, F.P.. (2002). **Análise Da Suscetibilidade A Deslizamentos No Bairro Saco Grande, Florianópolis . SC** Revista Universidade Rural, Série Ciências Exatas e da Terra Vol. 21 (1): 2002, p. 91-104.

HOEK, E, BRAY, J.. **Rock slope engineering** Revised 2nd ed London: Institution of Mining and Metallurgy, 1977.

HUTCHINSON, J. N. **Mass movement.** In: Encyclopedia of Geomorphology. Ed. Fairbridge, R. W. (2ed.). Reinhold Book Co. New York 1968

HUTCHINSON, J.N, GENS, A., CAVOUNIDIS,S., **Three dimensional analysis of slides in cohesive soils, Geotechnique**, 1988, Vol: 38, P. 1 – 23

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA -IBGE, Rio de Janeiro – RJ, Mapa Topográfico: Rio Claro, Folha (SF-23-M-I-4), Escala 1: 50.000.

INSTITUTO GEOGRAFICO E CARTOGRAFICO – IGC. São Carlos – SP. Mapa Topografico: Folha Córrego Santana, Santana de Baixo e Bairro Boa Vista 1979, Escala 1: 10.000.

IPT, São Paulo – SP, **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**, 1981 Serie Monografias, (5), 2v.

IPT, São Paulo – SP, **Manual de Geotecnia. Taludes de Rodovias** – Orientação Para diagnostico e Soluções Para os seus Problemas, 1991 DER SP.

KAEFFER, L.Q.; CAVALCANTE, JC.; CUNHA H.C.; CHIEREGATI,L.A.; YAMAMOTO, K; DRUMOND, J.B.V.; ROSA, D.B.; ROCHA, J.M.; COUTINHO, M.G.N. **Projeto Sapucaí : Estados de São Paulo e Minas Gerais – Relatório final de Geologia**. Brasília – DF, DNPM/CPRM. 1979, 299p.

LAKATOS, E.M.; MARCONI,M.A. **Metodologia do trabalho científico**. São Paulo, Ed. Atlas S.A., 1983.

LIMA, M.S.B.. **Movimentos de Massa nos Barrancos do Rio Acre e implicações sócio-econômicas na área urbana de Rio Branco/Acre**. (Dissertação de Mestrado) Florianópolis: UFSC, 1998.

LIMA, J. M. **Relação entre erosão, teor de ferro, parâmetros físicos e mineralógicos de solos da região de Lavras (MG)**. 1987. 86 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Lavras Universidade Federal de Lavras.

LOPES, A.P.R., AUGUSTO FILHO, O. **Aplicação de cartografia digital e SIG no estudo de processos de instabilização em taludes rodoviários: o exemplo da rodovia SP-310** . 6º Simpósio brasileiro de Cartografia Geotécnica e Ambiental. Uberlândia MG, junho 2007.

LUZ, P.A.C., PIMENTA, J.A.M. **Gerenciamento Geotécnico de Taludes e fundações. 1998.** In simpósio DE OBRAS RODOVIARIAS, 1 , São Paulo, 1998. Anais. Ao Paulo ABGE, 1998, p.15-28.

MARTINEZ, O. C. ; FUJIMURA, F. . **Importância dos aspectos geológico-geotécnicos em obras implantadas na Serra do Mar.** Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, BT/PMI/106, São Paulo, v. 106, p. 1-41, 1999.

MERGULHÃO, L,F,R. **O auxilio de técnicas de sensoriamento remoto na análise de condicionantes estruturais nas instabilidades de taludes em material saprolítico,** 2002, 158p, Dissertação de mestrado, São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos.

MONTEIRO, J, CORTES, R. **Classificacion regional de amenaza de deslizamientos.** 1989. In Simposio Sudamericano de Deslizamiento , 1, 1989, Paipa. Anais - Paipa- Colombia v.2, p. 727-752.

MOORE I D, GRAYSON R AND LADSON A **Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications** 1991 Hydrological Processes 5, p. 3– 30.

MORALES, N.; HASUI, Y. - **Evolução tectônica da porção ocidental do Cinturão de Cisalhamento Campo do Meio.** In: Simp.Nac.Est.Tectônicos, 4, SBG-MG, Belo Horizonte-MG, 1993. Anais., SBG-MG, Belo Horizonte - MG, p.292-6, 1993.

MORETTI, E.D.. **Curso Básico de Arcview 3.2 3.1.** Apostila, junho de 2000.

NAMIKAWA, L.M.. **Um método de ajuste de superfície para grades triangulares considerando linhas características.** 1995, São José dos Campos (Dissertação de Mestrado).

NEME, P.A..**Decisões em Geotecnia.** São Paulo, 1981 Dissertação de mestrado, 180p.

NISHIYAMA, L. (1991). **Mapeamento geotécnico preliminar da quadricula de São Carlos – SP** 1991, São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos (Dissertação de Mestrado).

OLIVIEIRA, J.B., PRADO, H. – **Levantamento Pedológico semi- detalhado do Estado de São Paulo: Quadricula de São Carlos-SP,** 1984.

OLIVEIRA, J.B. & PRADO, H. **Levantamento pedológico semi-detalhado do Estado de São Paulo: quadricula de Ribeirão Preto**, Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 1.987, 133p.

PACHECO, Carlos A. (coord.) **Perfil econômico da região e do município de Campinas. Campinas-SP**: Convênio Prefeitura Municipal de Campinas/PROCEN, 1997 (mimeografado).

PANET ,M, VORMERINGER, R, VIGIER, G, GOODMAN R.E.. **Grafical stability analysys and slopes in jointes rock**. Journal Soil Mecanics and Foundation Division ASCE, v. 95, n SM2, p. 685-686.

PIO FIORI, A. **Fatores que influem na análise de vertentes e no movimento de massa em encostas**. In: Boletim Paranaense de Geociências. N° 43. Curitiba: Editora da UFPR, 1995.

PIO FIORI, A., NUNES, F.G.. **Áreas de risco e Dinâmica Geoambiental das encostas da Serra do Mar – Paraná**. Boletim Paranaense de Geociências, n. 53, Curitiba, Editora da UFPR, 2003, p 45-58.

PIVETTI, J.L., et al. **Nova tecnologia de manutenção e infra – estrutura rodo- ferroviária**. 1982. In Congresso Brasileiro de Mecânica dos solos e Engenharia de Fundações, 7 Recife , 1982. Anais Recife.

PEDREIRA, A. J.; ROCHA, A. J. D. 1999. **Serra do Tombador; Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**. Disponível em <http://www.unb.br/ig/sigep/sitio031/sitio031.htm> (30 Ago. 99)

RAIFFA, H. **Teoria da decisão**. Petrópolis/São Paulo: Vozes/Edusp, 1977.

RIEDEL, P.S. **Condicionantes Estruturais na Estabilidade de taludes: uma abordagem regional, com apoio de técnicas de sensoriamento remoto. Tese de doutorado**. 1994 205p São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos.

RIEDEL P.S. **Aplicação de técnicas de sensoriamento remoto no estudo das condicionantes estruturais de estabilidade de taludes, da região de Atibaia, SP, Brasil**. Puerto Vallarta : Selper, 1995, v.1 p.3

RIEDEL, P. S. **Remote sensing techniques applied to slope failure analysis**. Rotterdam: Balkema, 1998 v. 3 p. 1557-1561.

ROCHA, L.A., ROCHA A.L.M. **Considerações preliminares sobre levantamentos de passivo ambiental em rodovias.** 1999. In Seminário Nacional . A variável ambiental em obras rodoviárias, Foz do Iguaçu, 1999. Anais , Paraná , p 417-426.

RODRIGUES, R., MORUZZI, C. **A geologia de engenharia aplicada no controle de um complexo rodoviário em operação.** 1982.

ROSA, R. **Curso de Arcview.** Universidade de Uberlândia, Laboratório de Geoprocessamento, 2004.

SANTOS M.C.S.R. **Manual de fundamentos cartográficos e diretrizes gerais para elaboração de mapas geológicos, geomorfológicos e geotécnicos.** São Paulo, IPT, Publicação 1773, 1989 45p.

SANTOS, R. F. **Proposta de Macrozoneamento do Vale do Ribeira.. São Paulo: Secretaria de Meio Ambiente/ENGECORPS (Série Documentos),** 1997. 83 p.

SELBY, M.J. **Hillslope Materials & Processes.** Oxford: Oxford University Press, 1990.

SHARPE, C.F.S. **Landslides and related phenomena – study of mass movements of soil and rock.** New York, Columbia University Press, 1938, 120 p.

SILVA, S.P.P. **Um estudo de estabilidade de taludes em rocha na rodovia BR-040.** 1<sup>a</sup> Conferencia Brasileira sobre estabilidade de encostas COBRAE. Rio de Janeiro, 1992.

SILVEIRA, A. L. da.; LOUZADA, J. A.; BELTRAME, L. F. **Infiltração e armazenamento no solo.** In: TUCCI, Carlos E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação.** Porto Alegre, Ed.Universidade, ABRH, EDUSP, 1993

SILVEIRA, L.L.L., **Elaboração de carta de suscetibilidade à erosão das bacias dos rios Araraquara e Cubatão-SP, escala 1:50.000, 2002,** São Carlos, Escol de Engenharia de São Carlos (Dissertação de Mestrado).

SOARES, P.C.; LANDIM, P.M.B. **Comparison Between the Tectonic Evolution of the Intracratonic and Marginal Basins in South Brasil.** Anais da Academia Brasileira de Ciencias, 1975, v.48 (supl) p. 313-324

SOUZA, S.P. de. **Proposta metodológica para estimativa de assoreamento de reservatório: estudo de caso do Sistema Manso.** 1996, Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. (dissertação de mestrado)

SOUZA, M.L. **Estudos Geológico-Geotécnicos de feições erosivas voltadas a tomada de procedimentos de decisões quanto a medidas correlativas, mitigadoras e preventivas – Aplicações no município de Umuarama – PR 2001.** Rio Claro Universidade Estadual Paulista. Tese (Doutorado em Geociências).

STOCHALAK, J.. **The classification of slope deposit from engineering geological point of view.** En: Anais. International Congress of Engineering Geology, 2, v.2: ,V27.1-V27.12. IAEG. São Paulo, 1974.

TERZAGHI, K.. **Erdbaumechanik auf bodenphysikalischer Grundlage.** Deuticke, Leipzig 1925.

TERZAGHI, K. **Mecanismos dos escorregamentos de terra.** (Tradução de Mechanics of landslides, 1950, 167 p.). In: Revista Politécnica, USP, 41 p., 1967.

TORQUATO, J.R.F.. Guia de ajuda ao Estereonete 2000.

UNDRO (1991) **Mitigating natural disasters: phenomena, effects and options: a manual for policy makers and planners.** New York; 164 p.

VARNES, D. J. Landslide types and processes. In: ECKEL, E. B. (Ed.). **Special report 29: landslides and engineering practice.** Washington, DC: National Research Council, 1958. p 20-47.

VARNES, D. J. **Slope movement types and processes.** In: SCHUSTER, R. L.; KRIZEK, R. J. (Ed.). Special report 176: landslides: analysis and control. Washington, DC: National Research Council, 1978. p 11-33.

VAZ, L.F. **Classificação genética dos solos e dos horizontes de alteração de rocha em regiões tropicais.** Revista Solos e Rochas, São Paulo, 1996 v.19:2, p.117-136.

WOLLE, C. M.. **Taludes naturais - mecanismos de instabilização e critérios de segurança.** 1980, 345 p, Dissertação de Mestrado, EPUSP, São Paulo.

WOLLE, C.M. **Slope stability.** In: **international conference on tropical lateritic and saprolitic soils**, (Discussion), Brasília, Progress Report. 1985, t.3.2, v. 1, 51 p.

ZEVENBERG, L. W. AND THORNE, C. R., **Quantitative analysis of land surface topography.** Earth Surface Processes and Landforms, 1987, 12:47, p.56.

ZUQUETTE, L.V. & NAKAZAWA, V.A. **Carta de geologia de engenharia.** In: OLIVEIRA & BRITO *Geologia de Engenharia* São Paulo, ABGE, 1998 p. 283-300.

**ANEXO 1 – FICHAS DE CAMPO**

**ANEXO 2 – BASE TOPOGRAFICA DIGITAL**  
**MAPA DE POTENCIAL DE INSTABILIZAÇÃO E ACIDENTE**