



CORRELAÇÃO ENTRE PLUVIOMETRIA E ESCORREGAMENTOS NO TRECHO DA SERRA DOS ÓRGÃOS DA RODOVIA FEDERAL BR-116 RJ (RIO-TERESÓPOLIS)

Ricardo Neiva d'Orsi

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil.

Orientadores: Willy Alvarenga Lacerda
Maurício Ehrlich

Rio de Janeiro
Novembro de 2011

CORRELAÇÃO ENTRE PLUVIOMETRIA E ESCORREGAMENTOS NO TRECHO DA
SERRA DOS ÓRGÃOS DA RODOVIA FEDERAL BR-116 RJ (RIO-TERESÓPOLIS)

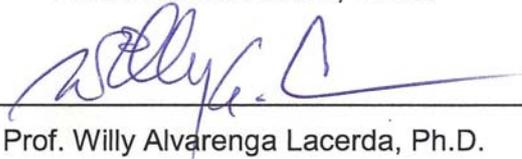
Ricardo Neiva d'Orsi

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ
COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM CIÊNCIAS EM
ENGENHARIA CIVIL.

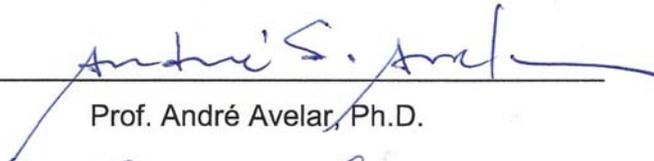
Examinada por:



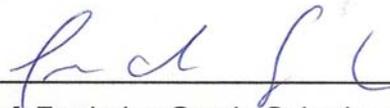
Prof. Maurício Ehrlich, D. Sc.



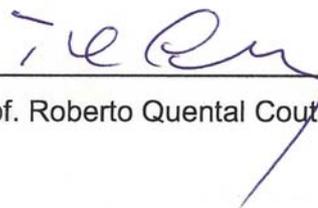
Prof. Willy Alvarenga Lacerda, Ph.D.



Prof. André Avelar, Ph.D.



Prof. Frederico Garcia Sobreira, Ph.D.



Prof. Roberto Quental Coutinho, Ph.D.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL
NOVEMBRO DE 2011

D'Orsi, Ricardo Neiva

Correlação entre Pluviometria e Escorregamentos no Trecho da Serra dos Órgãos da Rodovia Federal BR-116 RJ (Estrada Rio-Teresópolis) / Ricardo Neiva d'Orsi – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2011.

XVI, 287p., 29,7 cm.

Orientadores: Willy Alvarenga Lacerda

Maurício Ehrlich

Tese (doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Civil, 2011.

Referências Bibliográficas: p. 149-161.

1. Correlação entre Pluviometria e Escorregamentos.
 2. Pluviometria Crítica
 3. Escorregamentos em Encostas
- I. Lacerda, Willy Alvarenga et al. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Civil. III. Título.

DEDICATÓRIA

Às vítimas de acidentes geológicos
nas estradas do Brasil.

AGRADECIMENTOS

À minha esposa, Myriam, que me deu o necessário suporte emocional durante a realização do curso de doutoramento.

Aos meus orientadores Willy Alvarenga Lacerda e Maurício Ehrlich, pelo incentivo, respeito e orientação científica, que nunca faltaram.

À COPPE/UFRJ pela oportunidade e apoio.

À Concessionária Rio-Teresópolis – CRT, pelo apoio e cessão de informações técnicas.

À ANTT, na pessoa do Engenheiro Eduardo Auá, profundo conhecedor do BR 116 RJ, pelos relatos pessoais e disponibilização de documentos técnicos para pesquisa.

À estudante de graduação de engenharia da UFRJ Lays Cristina pelo apoio nas pesquisas e organização dos dados.

Ao estudante de graduação de engenharia da UFRJ Mauro Vitor dos Santos Moura pelo interesse, dedicação e importante participação nas diversas etapas da Tese, em especial nas análises das correlações.

À Fundação GEO-RIO, em especial ao engenheiro Herbem Maia, pelo apoio e incentivo.

Aos meteorologistas Patrícia Waldheim e Nilton Moraes, pelo auxílio na caracterização climatológica da área de estudo.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D. Sc.)

CORRELAÇÃO ENTRE PLUVIOMETRIA E ESCORREGAMENTOS NO TRECHO DA SERRA DOS ÓRGÃOS DA RODOVIA FEDERAL BR-116 RJ (RIO-TERESÓPOLIS)

Ricardo Neiva d'Orsi

Novembro/2011

Orientadores: Willy Alvarenga Lacerda

Maurício Ehrlich

Programa: Engenharia Civil

Este trabalho apresenta um estudo sobre o relacionamento entre precipitação pluviométrica e a deflagração de escorregamentos em taludes a montante e a jusante das pistas de rolamento da Rodovia Federal BR116RJ, no trecho da Serra dos Órgãos, entre os quilômetros 86 e 104. Para a realização do Estudo foi efetuada uma compilação das informações referentes aos escorregamentos ali ocorridos entre os anos de 1980 e 2010, bem como dos registros pluviométricos a eles associados. Os resultados obtidos através das correlações permitiram a definição de limiares pluviométricos críticos, com base na intensidade pluviométrica horária e na acumulada pluviométricas em 24 horas, a partir dos quais é alta a probabilidade de ocorrência de escorregamentos que produzam sérias consequências em relação a interrupção do tráfego e a produção de grandes danos na Rodovia. O Estudo também incluiu a elaboração de uma breve análise estatística do risco geológico ao longo dos 18 intervalos quilométricos analisados e a indicação das medidas necessárias para que se obtenha, ao longo dos próximos anos, uma melhor calibração dos limiares pluviométricos críticos ora definidos.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

CORRELATION BETWEEN RAINFALL AND LANDSLIDES ALONG THE SERRA DOS
ÓRGÃOS SEGMENT OF BR116 RJ FEDERAL ROAD (RIO-TERESÓPOLIS ROAD)

Ricardo Neiva d'Orsi

November/2011

Advisors: Willy Alvarenga Lacerda
Maurício Ehrlich

Department: Civil Engineering

This work presents a study on the correlation between rainfall and landslides along the Brazilian Federal Road BR116RJ, from Km 86 to Km 104, at the Serra dos Órgãos segment of the Road. The researched period spans from 1980 to 2010, and analyzed landslides occurrences from 40 significant rainfall events that triggered 125 registered landslides. The data analyzes enabled definition of a critical rainfall threshold based on the hourly rainfall intensity and the 24 hours accumulated rainfall. The study also included a brief geological risk evaluation based on statistical data and added the recommended measures to be used on the futures critical thresholds calibrations.

SUMÁRIO

1. Introdução	1
2. Revisão Bibliográfica	10
2.1 Caracterização Fisiográfica da Área de Estudo	10
2.1.1 Climatologia Regional	10
2.1.2 Climatologia Local	11
2.1.3 Vegetação	18
2.1.4 Geomorfologia	21
2.1.5 Aspectos Geológico-Geotécnicos	24
2.1.6 Caracterização Fotográfica	31
2.2 Estudos Anteriores de Correlação entre Chuvas e Movimentos de Massa no Brasil e no Mundo	32
2.2.1 Introdução	32
2.2.2 Modelos Baseados em Processos Físicos e Modelos Empíricos	41
2.2.2.1 Modelos Empíricos	42
2.2.3 Exemplos de Correlações em Território Nacional	53
2.3 Suscetibilidade a Movimentos de Massa e Risco Geológico-Geotécnico	69
3. Materiais e Método	74
3.1 Aspectos Gerais	74
3.2 Sobre a definição dos dados pluviométricos utilizados nas correlações	77
3.3 Organização dos Dados e das Correlações	84
3.4 Elaboração dos Gráficos	87
4. Pluviometria na Área de Estudo	92
4.1 Origem e Qualidade dos Registros Pluviométricos	92
4.2 Eventos Extremos Recentes Próximos à Área de Estudo	107
4.3 Registros Pluviométricos	110
5. Movimentos de Massa na Área de Estudo	112
5.1 Origem dos Dados	112
5.2 Descrição das Ocorrências	115
5.2.1 Exemplos de descrição de evento para cada um dos tipos de classe de evento pluviométrico	118
5.3 Principais Processos de Instabilização	122

5.4	Breve Análise Estatística do Risco	124
6.	Correlação entre Chuvas e Movimentos de Massa na Área de Estudo	131
6.1	Resultados	131
6.2.1	Correlação com Base na Relação mm/h x mm/24h	132
7.	Conclusões e Recomendações	141
7.1	Limiares Pluviométricos Críticos	141
7.2	Calibrações dos Limiares e Índices Pluviométricos Críticos	143
7.3	Risco Geológico-Geotécnico devido às Chuvas	145
7.4	Recomendações sobre a Operação da Rodovia	146
	Referências Bibliográficas	149
	Anexo 1 - Caracterização Fotográfica	162
	Anexo 2 - Registros Pluviométricos	182
	Anexo 3 - Registros sobre Movimentos de Massa na Área de Estudo	218

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.1 Localização da área de interesse da Tese de Doutorado em imagem de satélite.
- Figura 1.2 Localização da área de interesse da Tese de Doutorado em mosaico de cartas topográficas.
- Figura 1.3 Croqui esquemático do trecho de rodovia estudado (Parte 1).
- Figura 1.4 Croqui esquemático do trecho de rodovia estudado (Parte 2).
- Figura 2.1 Exemplo de formação de ZCAS (INMET, 2007).
- Figura 2.2 Distribuição das zonas de predominância das duas principais tipologias de vegetação.
- Figura 2.3 Floresta Ombrófila Densa Submontana (FSM).
- Figura 2.4 Ocorrência da Floresta Ombrófila Densa Montana (FM) na parte superior do trecho de Rodovia estudado.
- Figura 2.5 *Mapa de Unidades Geomorfológicas do Estado do Rio de Janeiro*, escala 1:250.000. (CPRM, 2000).
- Figura 2.6 Imagem de satélite com limites das unidades geomorfológicas em relação ao traçado da Rodovia BR 116.
- Figura 2.7 Seções Geológicas da Serra dos Órgãos retirados e modificados do trabalho de Rosier (1957).
- Figura 2.8 Disposição das Folhas Petrópolis, Itaipava Teresópolis e Itaboraí, escala 1:50.000.
- Figura 2.9 Mapa Geológico Regional (CUNHA *et al.*, 2000).
- Figura 2.10 Seção geológica esquemática (DRM-RJ).
- Figura 2.11 Seção geológica esquemática (DRM-RJ).
- Figura 2.12 Gráfico proposto por Peter Lumb (modificada de LUMB, 1975).
- Figura 2.13 Eventos com pluviometria acumulada a partir de 50mm/24h (modificado de KAY & CHEN, 1995, in CASTRO, 2006).
- Figura 2.14 Critérios para emissão de Alerta de Deslizamentos adotados no Hong Kong Geotechnical Engineering Office – GEO.
- Figura 2.15 Curva de Chuva Acumulada x Duração do Evento para Espanha (modificado de COROMINAS e MOYA, 1999, in CASTRO, 2006).
- Figura 2.16 Carta de periculosidade da Cidade do Rio de Janeiro baseada na correlação entre pluviosidade e escorregamentos (GUIDICINI e

IWASA, 1976).

- Figura 2.17 Envoltória de escorregamentos induzidos segundo TATIZANA *et al.* (1987a), para Serra de Cubatão (SP).
- Figura 2.18 Envoltória de escorregamentos ($I = 1873,06 \times AC4^{-1,258}$) para a Bacia do Camarajipe (Salvador –BA) segundo ELBACHÁ *et al* (1992).
- Figura 2.19 Níveis de decisão e de alerta adotados pelo Sistema Alerta Rio até o mês de maio de 2005 (modificado de D'ORSI *et al.*, 1997 e 2000).
- Figura 2.20 Curva de correlação entre precipitação diária e acumulada para cinco dias para escorregamentos generalizados (CASTRO, 2006)
- Figura 2.21 Mapa de Risco da Rodovia BR 116 RJ, realizado em 1979 pelo geólogo Roy E. Hunt correspondente à Figura 9.98 de seu livro *Geotechnical Engineering Investigation Handbook* (HUNT, 2005).
- Figura 2.22 Ficha de monitoração de um ponto utilizada por EHRlich et LIMA (2008) para a análise de risco geotécnico em pontos situados na BR116/RJ
- Figura 3.1 Ficha padrão utilizada para reunir dados sobre ocorrências de movimentos de massa na rodovia BR 116 RJ
- Figura 3.2 Exemplo da metodologia empregada para a definição de Eventos sem registros de Ocorrência utilizando dados horários
- Figura 3.3 Exemplo da metodologia empregada para a definição de Eventos sem registros de Ocorrência utilizando dados diários.
- Figura 3.4 Linha de tempo mostrando a não sobreposição (não inclusão) entre Intensidade e a Acumulada
- Figura 3.5 Linha de tempo mostrando a sobreposição entre Intensidade e a Acumulada, causando distorção no gráfico final, conforme exemplificado na figura 2.19.
- Figura 3.6 1ª etapa na construção da linha de tendências. Através de pares pluviométricos plotar “Eventos” e “Chuvas” nos gráficos.
- Figura 3.7 2ª etapa na construção da linha de tendências. Traçar um “threshold” manual de forma a tangenciar os pontos de eventos e evitar os pontos de chuva.
- Figura 3.8 3ª etapa na construção da linha de tendências. Plotar pontos no gráfico em cima da “threshold” manual.
- Figura 3.9 4ª etapa na construção da linha de tendências. Usar um software (Microsoft Excel) para calcular a equação da curva.
- Figura 4.1 Distribuição (geral e detalhe) de estações pluviométrica (ponto pretos)

- pertencentes ao Royal Observatory na Cidade de Hong Kong (LEE, 1984).
- Figura 4.2 Distribuição de telepluviômetros do Sistema Alerta Rio, na Cidade do Rio de Janeiro.
- Figura 4.3 Localização a Estação Automática do INMET na sede do Parque Nacional da Serra dos Órgãos em Teresópolis – RJ
- Figura 4.4 Fotografia da Estação Teresópolis – A 618.
- Figura 4.5 Estação Automática da CRT, BR 116 KM 94,7 (Posto Garrafão).
- Figura 4.6 Estação Automática da CRT, BR 116 KM 90 (próximo ao Alto do Soberbo)
- Figura 4.7 Detalhe das estações da CRT no KM 90 da BR 116.
- Figura 5.1 Fotos da Oc. 120 – Pedras que rolaram da vertente e acabaram no acostamento sem maiores conseqüências.
- Figura 5.2 Fotos da Oc. 120 – Pedras que rolaram da vertente e acabaram no acostamento sem maiores conseqüências.
- Figura 5.3 Algumas indicações de pontos na Rodovia onde existe risco associado à corrida de detritos.
- Figura 5.4 Gráfico apresentando o número de ocorrências deflagradas a montante e a jusante da pista de rolamento no trecho da Serra dos Órgãos da BR - 116 RJ.
- Figura 5.5 Quantidade e Percentual dos Eventos Pluviométricos em função de sua Categoria quanto aos danos causados na Rodovia BR 116RJ.
- Figura 5.6 Gráfico relacionando o No. de Ocorrências ao longo da Rodovia BR 116 RJ (entre os KM 86 e 104) x Intervalo quilométrico, no período 1980 a 2010.
- Figura 5.7 Gráfico relacionando o No. de Ocorrências ao longo da Rodovia BR 116 RJ (entre os KM 86 e 104) x Intervalo quilométrico, no período 01/01/1980 a 31/12/1989.
- Figura 5.8 Gráfico relacionando o No. de Ocorrências ao longo da Rodovia BR 116 RJ (entre os KM 86 e 104) x Intervalo quilométrico, no período 01/01/1990 a 31/12/1999.
- Figura 5.9 Gráfico relacionando o No. de Ocorrências ao longo da Rodovia BR 116 RJ (entre os KM 86 e 104) x Intervalo quilométrico, no período 01/01/2000 a 31/12/2010.
- Figura 6.1 Gráfico de correlação entre “mm/h” e “mm/24h”
- Figura 6.2 Detalhe dado gráfico referente à Fig. 6.1.
- Figura 6.3 Correlação entre “mm/24h e mm/96h”: resultados não possibilitaram o

estabelecimento de um limiar pluviométrico crítico.

- Figura 6.4 Detalhe dado gráfico referente à Fig. 6.3.
- Figura 6.5 Exemplo de correlação (“mm/24h” x “mm/48h”) testada que não apresentou resultado consistente.
- Figura 6.6 Diversos exemplos de correlações testadas que não apresentaram resultados consistentes.
- Figura 7.1 Curva pluviométrica crítica adotada pela CRT a partir do 2º semestre de 2011 para o fechamento preventivo da BR 116 RJ no trecho da Serra de Teresópolis, entre os km 89 e 103.

LISTA DE TABELAS

- Tabela 2.1 Normais Climatológicas no período entre 1961 e 1990 na estação climatológica de Nova Friburgo.
- Tabela 2.2 Precipitação na Estação Pluviométrica do Parque Nacional da Serra dos Órgãos (INMET) entre 1931 e 1975 (FIDERJ - 1978).
- Tabela 2.3 Resumo das características climáticas na área de estudo.
- Tabela 2.4 Aspectos pluviométricos de eventos pluviométricos definidos por Brand em 1984 (in PEDROSA, 1994) associados à deflagração de escorregamentos na região de Hong Kong.
- Tabela 2.5 Probabilidade de escorregamentos por zonas de precipitação (vide Figura 3.2) na região de Hong Kong (modificado de KAY & CHEN, 1995, in CASTRO, 2006).
- Tabela 2.6 Relação de pesquisadores e suas propostas de limiares pluviométricos globais.
- Tabela 2.7 Valores do parâmetro “K”, na expressão $I(AC) = K \times (AC4d)^{-0,933}$ na proposta de TATIZANA *et al* (1987a) para limiares pluviométricos na Serra de Cubatão (SP).
- Tabela 2.8 Critérios para mudança das condições de risco e emissão de alerta propostos por ALMEIDA *et al* (1993) para o Município de Petrópolis (RJ).
- Tabela 2.9 Coeficiente de Precipitação Crítica (CPC) segundo proposta de CERRI (1993), para as regiões de Cubatão (SP), Baixada Santista e Litoral norte do Estado de São Paulo.
- Tabela 2.10 Proposta de chuvas críticas para operação de um Sistema de Alerta (Pedrosa, 1994).
- Tabela 2.11 Definição de classes para eventos de chuvas (D’ORSI *et al.*, 2000).
- Tabela 2.12 Critérios pluviométricos operacionais utilizados pelo Sistema Alerta Rio para definição dos níveis risco (probabilidade de ocorrência de escorregamentos) durante a ocorrência de eventos chuvosos.
- Tabela 2.13 Cadastro de pontos de risco realizado pela empresa SALCONSULT Engenharia Ltda em 2005, por solicitação da Concessionária CRT
- Tabela 3.1 Comparação das maiores chuvas em 24h entre as estações Parque Nacional de Teresópolis (83806) e Teresópolis (83374). Fonte INMET (2006).

- Tabela 3.2 Comparação do número médio de dias com chuvas entre as estações Parque Nacional de Teresópolis (83806) e Teresópolis (83374). Fonte INMET (2006).
- Tabela 3.3 Comparação dos maiores índices pluviométricos totais mensais entre as estações Parque Nacional de Teresópolis (83806) e Teresópolis (83374). Fonte INMET (2006).
- Tabela 3.4 Comparação do índice médio de chuva entre as estações Parque Nacional de Teresópolis (83806) e Teresópolis (83374). Fonte INMET (2006).
- Tabela 3.5 Combinações entre acumuladas pluviométricas testadas objetivando determinar a curva de melhor ajuste (*threshold*) que limita os campos das chuvas com e sem ocorrências de escorregamentos.
- Tabela 4.1 Ficha técnica da Estação A618 – INMET.
- Tabela 4.2 Ficha técnica da Estação 83744 – INMET.
- Tabela 4.3 Ficha técnica da Estação 83806 – INMET.
- Tabela 4.4 Ficha Técnica da Estação Garrafão.
- Tabela 4.5 Ficha Técnica da Estação CRT km 90.
- Tabela 4.6 Resumo dos valores pluviométrico referentes ao Total de Chuva na estação Teresópolis (83744), nos anos de 1961 a 2005 (INMET, 2006).
- Tabela 4.7 Resumo dos valores pluviométrico referentes ao Total de Chuva na estação Parque Nacional Teresópolis (83806), nos anos de 1943 a 2005 (INMET, 2006).
- Tabela 4.8 Resumo dos valores pluviométrico referentes a Chuva Máxima em 24 horas na estação Teresópolis (83744), nos anos de 1961 a 2005 (INMET, 2006).
- Tabela 4.9 Resumo dos valores pluviométrico referentes a Chuvas Máxima em 24 horas na estação Parque Nacional Teresópolis (83806), nos anos de 1943 a 2005 (INMET, 2006).
- Tabela 4.10 Resumo dos valores pluviométrico referentes ao Número de Dias com Chuva estação Teresópolis (83744), nos anos de 1961 a 2005 (INMET, 2006).
- Tabela 4.11 Resumo dos valores pluviométrico referentes a Número de Dias com Chuva na estação Parque Nacional Teresópolis (83806), nos anos de 1943 a 2005 (INMET, 2006).
- Tabela 4.12 Maiores acumuladas pluviométricas registradas no Município de Nova Friburgo (RJ) durante o Evento pluviométrico intenso iniciado na noite do dia 10 de janeiro de 2011.

- Tabela 4.13 Maiores intensidades horárias e acumuladas pluviométricas registradas no Evento pluviométrico intenso iniciado na noite do dia 25 de abril de 2011 no Município do Rio de Janeiro.
- Tabela 5.1 Classificação do Evento pluviométrico com registro de escorregamento atingindo a pista de rolamento, quanto às conseqüências em relação à Rodovia BR 116 (Rio – Teresópolis) no trecho da Serra dos Órgãos.
- Tabela 5.2 Relação dos eventos de chuvas com ocorrências de escorregamentos significativos.
- Tabela 5.3 Resumo dos pontos com danos a pista de rolamento da BR 116 / RJ durante o evento chuvoso dos dias 17 e 18 de janeiro de 1991
- Tabela 7.1 Informações a serem incluídas nos Boletins de Ocorrência da CRT de modo a facilitar o desenvolvimento de futuros estudos de correlação entre chuvas e escorregamentos.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 Histórico da Via e Justificativas do Estudo

O trecho rodoviário da subida da Serra de Teresópolis - Km 104 ao Km 89 da Rodovia Federal BR 116 RJ - foi inaugurado no ano de 1959, tendo ficado até 22 de março de 1996 sob a responsabilidade do Departamento Nacional de Estrada de Rodagens (DNER) e, a partir de então, tem sido mantido e operado pela Concessionária Rio - Teresópolis (CRT). A abertura desta estrada (transformação de trilha para mulas em uma via propícia ao trânsito de carruagens), entretanto, remonta ao Século XVIII quando, em 1704 se iniciou a construção da Estrada Nova Minas com o objetivo de encurtar, em quatro dias, o trajeto entre a Cidade do Rio de Janeiro e Minas Gerais (FERREZ, 1970, LIMONGI *et al*, 1998).

Embora constitua um segmento rodoviário relativamente curto, em apenas 15 quilômetros de extensão deste trecho da Rodovia vence um desnível topográfico de 950m, fato este que demandou, para sua construção, um grande número de obras de arte (pontes e viadutos) e a realização de escavações e de aterros - com conseqüentes obras de estabilização de taludes - ao longo de vários intervalos da vertente leste da Serra dos Órgãos, nome local da Serra do Mar naquela região do Estado do Rio de Janeiro. As Figuras 1.1 a 1.4 apresentam a localização do trecho de rodovia objeto do presente estudo em diferentes bases.

Em seus pouco mais de 52 anos de existência, este trecho da Rodovia BR 116 RJ – que também leva o nome de “Rodovia Santos Dumont” - tem apresentado um altíssimo índice de ocorrências de acidentes geológico-geotécnicos (escorregamentos). A grande maioria dos casos foram deflagrados por chuvas intensas, sendo que, apenas nas últimas 3 décadas (Janeiro/1980 a Fevereiro/ 2011), havendo registrados 40 eventos pluviométricos significativos, com ocorrências deste tipo de acidente, muitos dos quais atingindo diretamente a Rodovia e provocando sérias conseqüências ao tráfego, destruição material (veículos, casas, etc.) e, pelo menos, a morte de 37 pessoas.

Em função desta altíssima vulnerabilidade, a presente tese de doutoramento vem apresentar, como seu principal objetivo, uma proposta de pluviometria crítica específica para o setor da Serra dos Órgãos ao longo dos quilômetros 86 e 104 da BR



Figuras 1.1 – Localização da área de interesse da Tese de Doutorado (limitadas pelos KM 86 e 104 da BR 116 RJ) em imagem de satélite (vista oblíqua) obtida em Google.com, dia 26/04/11 às 13:10.

Coordenadas:

km 104: **Latitude:** 22°31'57.43"S **Longitude:** 42°59'40.16"O **Altitude:** 80m

km 86 : **Latitude:** 22°27'28.16"S **Longitude:** 42°57'41.34"O **Altitude:** 945m

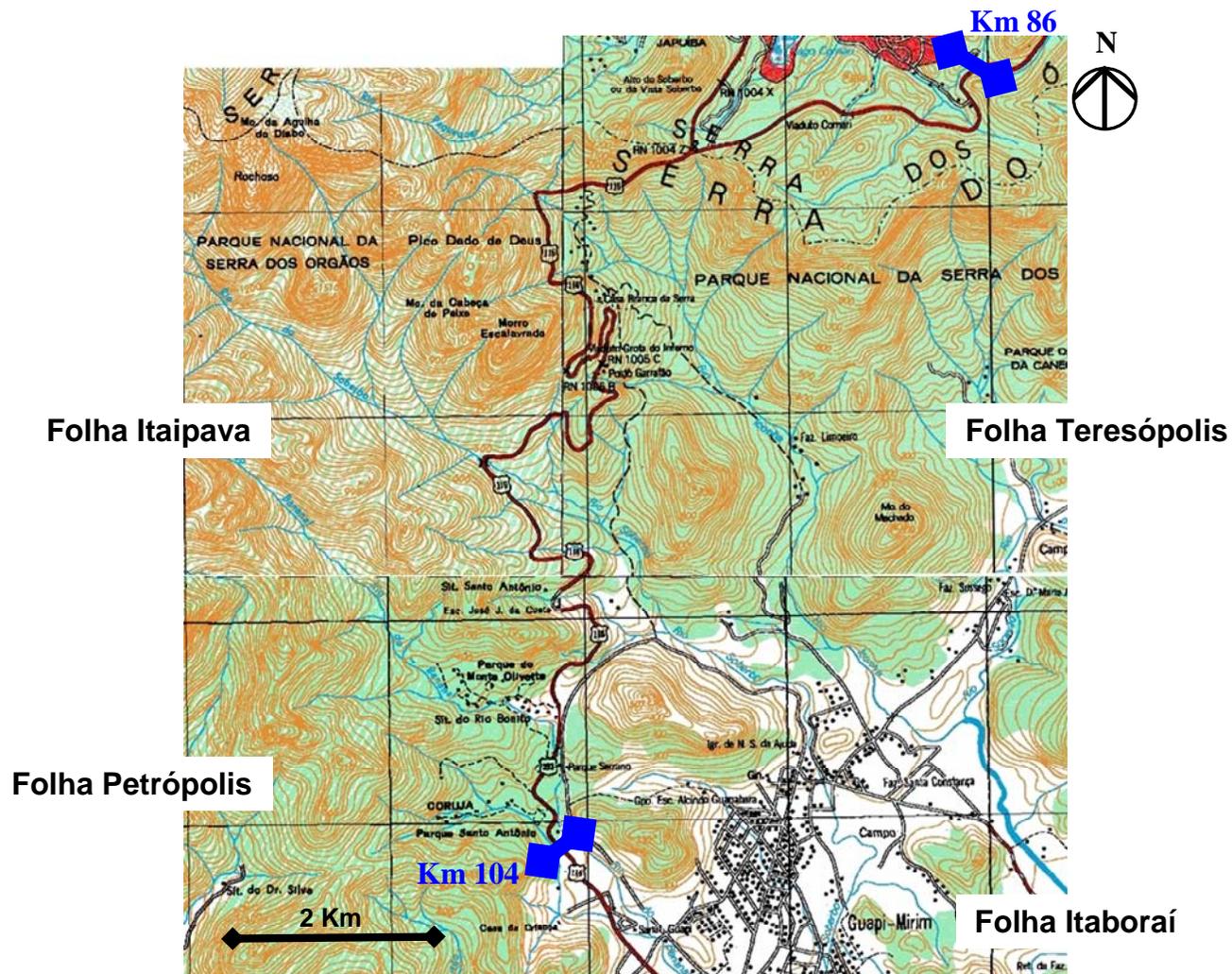


Figura 1.2 – Localização da área de interesse da Tese de Doutorado (limitadas pelos KM 86 e 104 da BR 116 RJ) em mosaico de Cartas Topográficas em escala 1:50.000, referentes às Folhas Teresópolis (IBGE, 1979a), Folha Petrópolis (IBGE, 1983), Folha Itaboraí (1979b) e Folha Itaipava (IBGE, 1982).

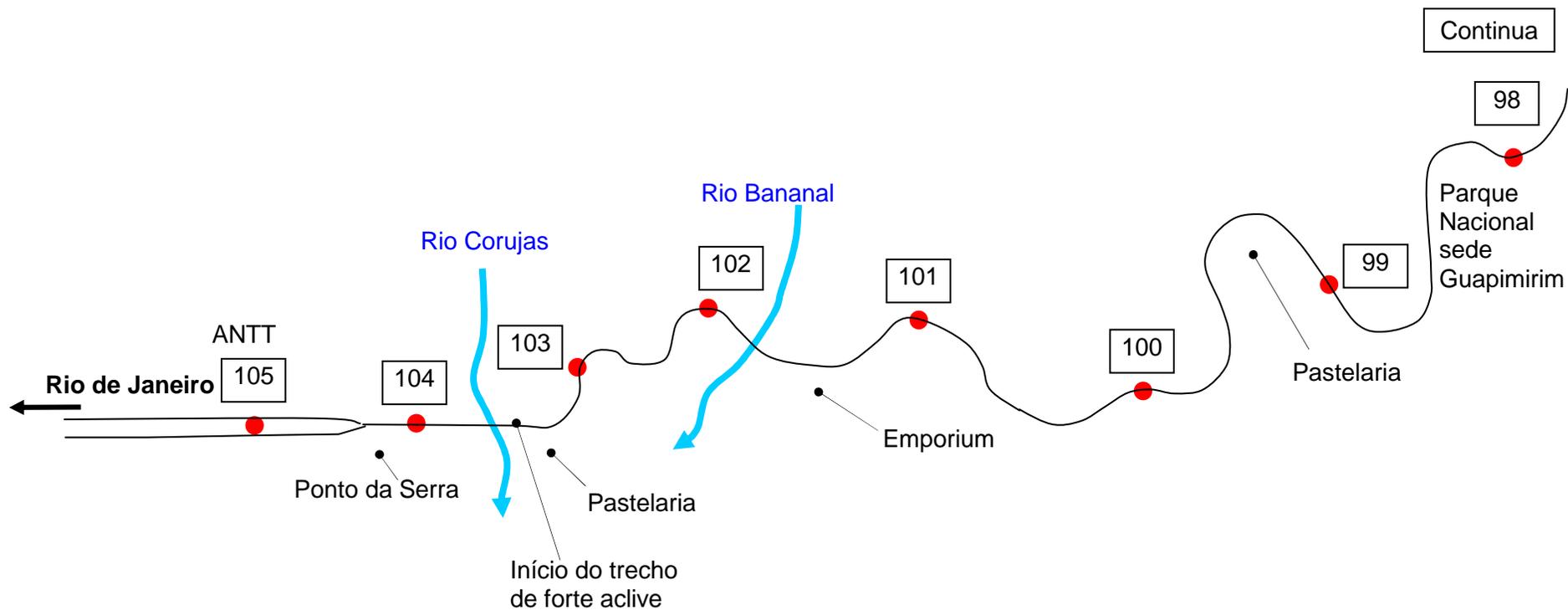


Figura 1.3 – Croqui esquemático elaborado com base em informações disponíveis no site (<http://www.crt.com.br>) da Concessionária Rio-Teresópolis – CRT, relativo ao trecho da Rodovia estudado, com a indicação de marcos quilométricos e de referências geográficas ou comerciais. (Parte 1).

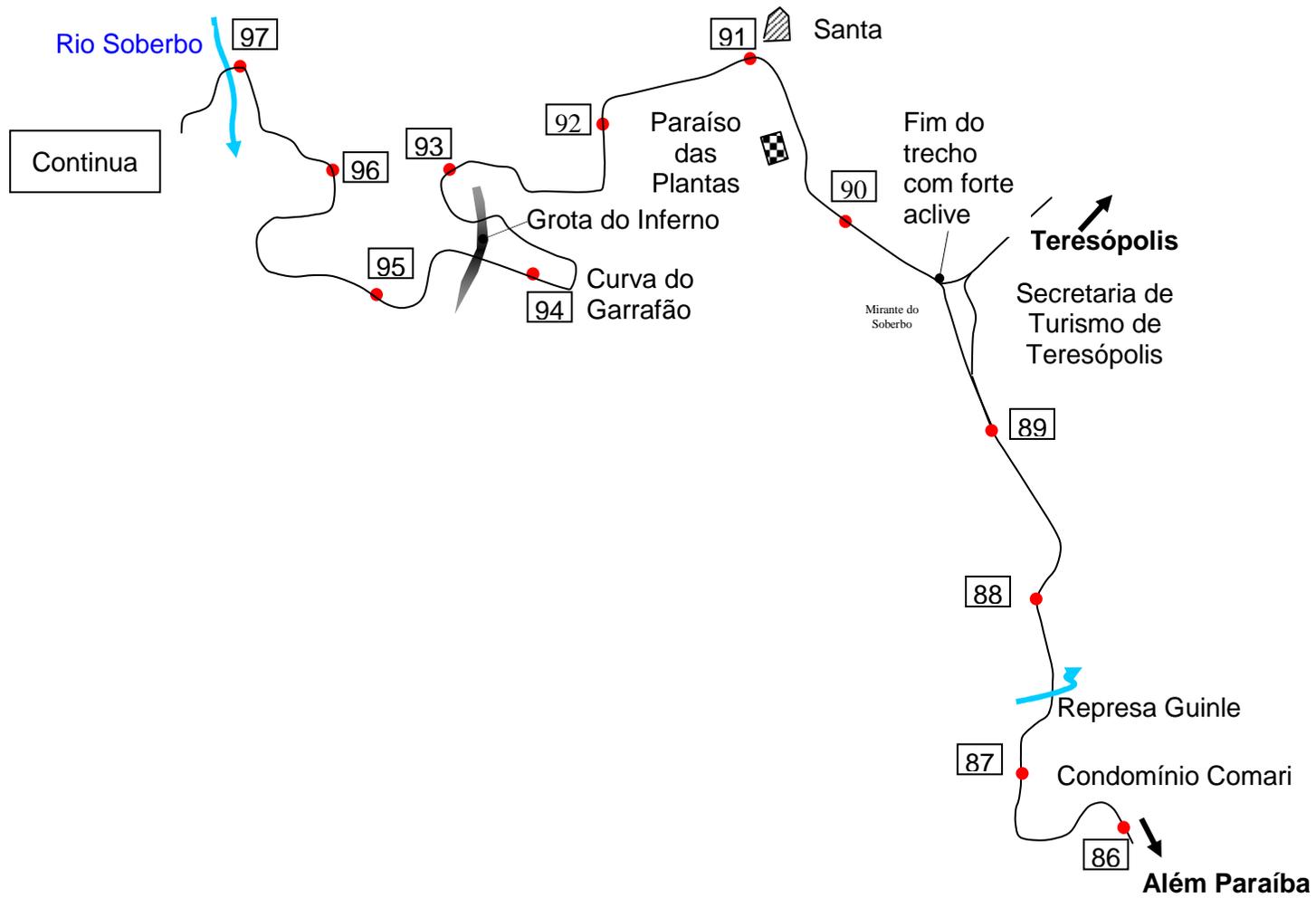


Figura 1.4 – Croqui esquemático do trecho da Rodovia estudado na presente Tese (Parte 2 - vide Figura 1.3)

116 RJ. Em outras palavras, pretendeu-se, com o presente estudo, determinar quais são as intensidades (ou acumuladas) pluviométricas a partir das quais se iniciam os escorregamentos que atingem aquele trecho da Rodovia.

Para alcançar o objetivo ora proposto, foram necessários levantamentos e análises dos registros dos acidentes geológico-geotécnicos ocorridos na área de interesse nos últimos 30 anos e também dos registros pluviométricos associados àqueles acidentes, em especial a pluviometria na data e nos dias imediatamente anteriores. Deste modo foi possível estabelecer algumas correspondências entre as chuvas e os escorregamentos e, assim, determinar as correlações que melhor se aplicam à área estudada. Cabe citar que o estudo está inserido no Projeto de pesquisa existente entre a COPPETEC e a CRT/ANTT com o título “Monitoramento das condições climáticas associadas às condições geológico-geotécnicas da Rodovia BR-116/RJ e seu entorno”, com vistas à redução do risco associado a escorregamentos em seus 142,5 km, que se estendem entre o entroncamento da via com a BR 040, no município de Duque de Caxias-RJ, e o entroncamento com a BR 393 no município de Além Paraíba – RJ.

Outro importante produto das análises desenvolvido durante a Tese foi resgate e sucinta análise das informações disponíveis, diretamente concernentes à suscetibilidade e ao risco geológico-geotécnico associados ao risco geológico-geotécnico associado a escorregamentos, ao longo dos 18 quilômetros (Km 86 ao Km104) correspondentes à área de interesse do presente Estudo. Através do exame das ocorrências (acidentes geológico-geotécnicos que atingiram a Via) e do levantamento das informações contidas em artigos técnico-acadêmicos, foi possível definir, mesmo que apenas preliminarmente, quais são os trechos de maior suscetibilidade (maior frequência de ocorrências), bem como alguns aspectos daqueles movimentos de massa ali verificados. Uma especial atenção foi dada à suscetibilidade em relação à corridas de detritos, face ao alto potencial destrutivo deste tipo de fenômeno.

Em busca de algum pragmatismo na utilização das informações coletadas e produzidas pelo presente estudo, optou-se por compartimentar o texto da Tese em apenas 7 capítulos que incluem os elementos ameados pela pesquisa, suas consequentes análises e as conclusões e as recomendações, advindas das análises. Assim sendo, o Capítulo 1 corresponde a presente “Introdução”, onde estão descritos a motivação e o objetivo da Tese, informações quanto à localização e características do trecho de rodovia e da área de estudo e uma breve apresentação do conteúdo de cada capítulo da Tese.

O Segundo Capítulo apresenta uma revisão bibliográfica onde inicialmente procurou-se resumir as características fisiográficas da área de interesse mais relevantes ao Estudo, destacando-se os aspectos de clima, da vegetação, da geomorfologia e da geologia. Este resumo permitiu ao autor um melhor entendimento do meio físico em que a área de pesquisa está inserida. Neste capítulo também se objetivou reunir e melhor entender os estudos sobre correlação entre chuvas e movimentos de massa, realizados no Brasil e no mundo, com destaque para as principais metodologias desenvolvidas nos diversos trabalhos existentes. Esta fase da pesquisa teve particular importância na definição da metodologia que seria adotada nas análises de correlação, fornecendo o necessário embasamento para que o autor pudesse desenvolver suas análises com base nos dados existentes. Ainda no Capítulo 2 foram incluídos os estudos pré-existentes sobre risco e suscetibilidade associada a movimentos de massa na rodovia. Também associado a este capítulo está o Anexo 1 que corresponde a uma caracterização fotográfica, quilômetro por quilômetro, efetuada pelo autor durante suas visitas de campo à rodovia.

O Capítulo 3 expõe os materiais, critérios e métodos que consolidam a metodologia adotada, sendo apresentados os aspectos gerais do método, a definição e o modo de utilização dos dados pluviométricos nas análises de correlações, a forma de organização dos dados e das correlações e finalmente o passo a passo para a elaboração dos gráficos de correlação.

O Capítulo 4 consubstancia os dados pluviométricos da área de estudo em geral e cada de evento chuvoso em particular, incluindo as acumuladas pluviométricas das 96, 72, 48 e 24 horas antecedentes aos escorregamentos, e das intensidades horárias, quando disponíveis. São comentados descritos os aspectos gerais das estações pluviométricas utilizadas bem como questões relativas à qualidade dos dados pluviométricos. O grande volume de dados pluviométricos é apresentado em forma de tabelas que constituem o Anexo 2 da Tese.

O Quinto Capítulo reúne as informações referentes aos 125 registros de ocorrências (movimentos de massa) pesquisados, com foco nas informações sobre localização, data e hora (quando possível), posicionamento em relação à pista (montante e jusante), tipologia do movimento, consequências do movimento e referências (origem dos dados). Os dados foram organizados em forma de fichas próprias para cada ocorrência. Neste capítulo também está apresentada uma classificação do evento pluviométrico em relação ao número e ao alcance dos movimentos de massa. Esta classificação foi proposta pelo autor e visou um melhor entendimento da distribuição das consequências dos movimentos em relação ao tempo (décadas) e ao posicionamento (intervalos quilométricos). Em face do amplo

volume de dados, as fichas de cada ocorrência foram agrupadas de modo a constituir o Anexo 3 da Tese. Ainda no corpo do Capítulo 5 foram 6 foram reunidas as informações e análises (basicamente estatísticas) produzidas pela pesquisa em relação à suscetibilidade e ao risco geológico-geotécnico associado a movimentos de massa ao longo dos estudados 18 quilômetros de Rodovia.

O Capítulo 6 da Tese se dedica às análises entre as chuvas e os escorregamentos especificamente na área da Tese, sendo apresentando os resultados relativos aos limiares pluviométricos críticos da região estudada.

Finalmente, no Capítulo 7, são apresentadas as conclusões com o resumo dos resultados referentes aos limiares pluviométricos críticos, as informações sobre a avaliação da suscetibilidade e risco associado a movimentos de massa e as diretrizes básicas para a execução de futuras calibrações daqueles limiares críticos, que poderá ser levada a cabo pela própria CRT nos próximos anos, quando o volume de dados de intensidade horária e de registros de acidentes será em número suficiente para o estabelecimento de limiares com graus de precisão mais elevados. Finalmente, porém ainda no âmbito deste capítulo sobre conclusões e recomendações, foi acrescentado item referente á questões operacionais de fechamento preventivo da via, como medida de redução do risco associado a movimentos de massa durante a ocorrência de chuvas intensas. Quanto a este assunto vale citar que, não obstante a relativa imprecisão dos limiares críticos ora apresentados, alguns resultados parciais dos estudos desenvolvidos no presente trabalho já vêm, mesmo antes da conclusão da Tese, apresentando benefícios práticos, já que a CRT e a ANTT, após reuniões técnicas realizadas no ano de 2010, junto a COPPE/UFRJ, incorporaram aos processos de gestão da Via alguns procedimentos de mobilização de equipes operacionais e de fechamento preventivo da Rodovia baseados no monitoramento pluviométrico em tempo real e em índices pluviométricos críticos. Estes procedimentos foram descritos no Boletim Informativo da CRT (ano 16 – Nº 132 - Março/2011), distribuído pela empresa em postos de Pedágio, do seguinte modo: “Os dados obtidos pelas estações meteorológicas, automáticas e convencionais, assim como de previsão do tempo e do sistema de comunicação com a CRT, possibilitam o envio “on line” de boletins atualizados à área técnica e operacional da concessionária, com a análise instantânea sobre as condições climáticas, agilizando a adoção de medidas preventivas, minimizando os impactos na rodovia. Quando , por exemplo, é emitido o alerta de chuva próximo ao volume crítico pré-estabelecido, máximo de 125mm em 24h ou 55mm em uma hora, equipes do setor de operações são mantidas de prontidão nos extremos da Serra e, caso esses índices críticos sejam atingidos, ou se, segundo o INMET, a chuva intensa tenda a persistir, o trecho é interditado preventivamente

para evitar possíveis acidentes. A reabertura do trecho só acontece após duas horas consecutivas com índice de chuva horária abaixo de 5mm e depois de vistoria visual por técnicos da CRT”.

Por fim, cumpre mencionar que a partir de abril de 2010, a CRT deu início às obras de construção da “3ª Faixa” no trecho da Serra, com conclusão prevista para 2014 e abrangendo 12 dos 14 quilômetros (Km104 ao Km 89). A implantação de uma 3ª faixa poderá, de alguma forma, alterar o comportamento deste trecho de Rodovia em relação aos movimentos de massa, uma vez que grande parte do sistema de drenagem ao longo das pistas será afetado e obras de estabilização serão executadas nos taludes que forem escavados. Obviamente, prevê-se que as consequências decorrentes das obras para a 3ª faixa em relação à vulnerabilidade da Via quanto aos escorregamentos sejam positivas, ou seja, que a Via fique ainda mais resistente aos processos de instabilização deflagrados pelas chuvas. Entretanto, apenas através de sistemáticos monitoramentos, registros e análises dos dados de chuvas e das ocorrências de movimentos de massa, a serem realizados ao longo dos anos futuros, será possível constatar se esta previsão efetivamente se cumpriu.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Caracterização Fisiográfica da Área de Estudo

2.1.1 - Climatologia Regional

O Sudeste do Brasil, onde está situada a área de estudo, caracteriza-se por ser uma Região de transição entre o clima quente de latitudes baixas e o clima mais ameno das latitudes médias. Sofre, portanto, influência de sistemas que associam características de fenômenos tropicais com outros típicos de clima temperado (QUADRO *et al*, 1996). Não obstante a tal transição, a área é considerada, pela maioria dos autores, como sendo uma região térmica Tropical Úmida, estando, portanto, sujeita aos efeitos de sistemas de escala Sinótica (frentes frias) e sistemas de mesoescala (linhas de instabilidades e sistemas convectivos).

Segundo a classificação climática de Köppen¹, a Região Sudeste, como um todo, estaria inserida numa área de clima tropical, classe Aw, com duas estações do ano bem definidas: inverno ameno e seco e verão quente e chuvoso. A letra “A” significando clima quente e úmido e a letra “w”, com chuvas de verão. As temperaturas médias são superiores a 20°C, com amplitude térmica anual de até 7 graus, e os acumulados de precipitação variam entre 1.500 e 2.000 mm/ano. (QUADRO *et al*, 1996)

Pode-se afirmar que o sudeste Brasileiro é afetado pela maioria dos sistemas sinóticos que atingem o Sul do país, porém com algumas diferenças em termos de intensidade e sazonalidade dos sistemas. Apesar dos sistemas frontais serem importantes responsáveis pela ocorrência de precipitação na região durante todo o ano, no período entre novembro e março é comum a ocorrência de sistemas

¹ A classificação de Köppen baseia-se fundamentalmente na temperatura, na precipitação e na distribuição de valores de temperatura e precipitação durante as estações do ano.

convectivos (“chuvas de verão”), os quais elevam significativamente os índices pluviométricos, caracterizando o período entre dezembro e março como a estação chuvosa.

Ainda durante os meses do verão, em adição a forte atividade convectiva, ocorrem as denominadas Zonas de Convergências do Atlântico Sul – ZCAS (Figura 2.1). Estes fenômenos correspondem a faixas de nebulosidade (e conseqüente grande umidade), normalmente orientadas no sentido noroeste-sudeste e que se estendem do sul da Amazônia ao Atlântico Sul-Central, por alguns milhares de km, mormente nos meses de verão, perdurando, em média, entre 4 e 15 dias consecutivos. As ZCAS constituem um dos principais fenômenos que influenciam o regime de chuvas da Região Sudeste (QUADRO e ABREU, 1994), sendo que nos verões de anos considerados normais, ou seja, sem ocorrências de “El Niño ou de La Niña, elas se desenvolvem em média de 5 eventos (FERREIRA *et al*, 2004; CLIMANÁLISE). O fato da banda de nebulosidade e chuva permanecer semi-estacionária por dias seguidos favorece a ocorrência de inundações e deslizamentos nas áreas afetadas.

2.1.2 - Climatologia Local

A posição geográfica do Estado do Rio de Janeiro - imediatamente ao norte do Trópico de Capricórnio - garante um superávit de energia solar em praticamente todos os meses do ano. O contato direto (linha de costa com aproximadamente 635 km de extensão) com o Oceano Atlântico é outro elemento importante que imputa influência direta no clima do Estado, uma vez que o Oceano funciona como um eficiente regulador térmico, promovendo a suavização das temperaturas nas faixas litorâneas.

O aporte de umidade para o continente é mantido através das brisas marítimas e pela circulação de grande escala associada à borda oeste do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul. Esse aporte é espacialmente variável, uma vez que as características de superfície (rugosidade decorrente do movimentado relevo associado à Serra do Mar e, mais interiormente, à Serra da Mantiqueira) podem favorecer, ou não, à maior penetrabilidade desses escoamentos no continente. A elevada umidade do ar e os elevados índices pluviométricos reinantes no Estado confirmam a influência da maritimidade no clima local. Neste contexto, a diversidade climática fluminense

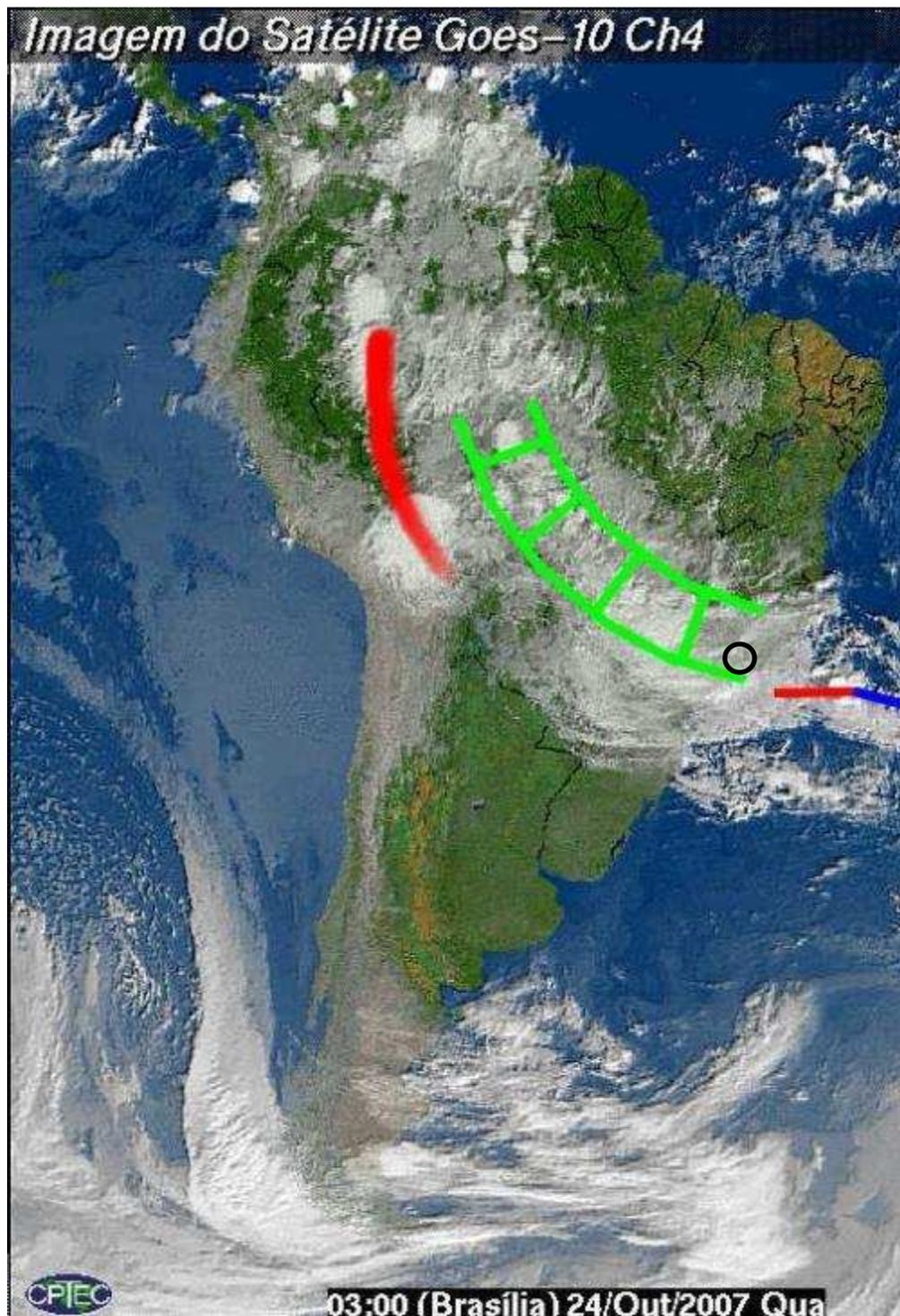


Figura 2.1 – Exemplo de formação de ZCAS abrangendo a área de estudo (aproximadamente indicada pelo círculo preto). (INMET, 2007)

decorre da combinação de uma série de fatores locais e atmosféricos. Não somente as médias de temperatura são fortemente influenciadas pela questão do relevo, da cobertura vegetal e da posição em relação às fontes de umidade (oceanos, lagos, etc.), mas também o regime e a distribuição dos totais pluviométricos.

Além disso, os contrastes térmicos associados com a topografia também podem induzir a circulações locais, tais como as brisas de vale e montanha. E a associação relevo-altitude-maritimidade é responsável pelo aumento da turbulência do ar, podendo induzir a formações convectivas com consequentes chuvas orográficas nas cotas mais elevadas das regiões de Serra.

Na Região Serrana do setor leste da Região Sudeste, onde se encontra a Serra dos Órgãos, são registrados os extremos mínimos de temperaturas durante o inverno, enquanto temperaturas mais elevadas são observadas no verão. Essa região é caracterizada pela presença de intensa atividade convectiva nos meses de maior aquecimento (dezembro a março). No trecho serrano da Rodovia (entre os quilômetros 86 e 103), o efeito local da presença da Serra do Mar faz o clima tender para a classe Cwb na classificação de Köppen, caracterizada como de clima tropical de altitude, com verões úmidos e invernos secos, apresentando-se, portanto, mesotérmico e chuvoso. Entretanto, verifica-se que quanto maior são as cotas altimétricas, maiores tendem a ser as precipitações, que não raramente ultrapassam os 1500 mm anuais e, obviamente menores são as temperaturas. Cabe ressaltar que no ponto da Rodovia conhecido como Alto Soberbo (próximo ao Km 89), onde a altitude é de 1000m, a média anual de temperatura fica em torno de 18°C, sendo a temperatura média de agosto, mês característico do inverno, cerca 15°C, e em janeiro, típico mês de verão, a temperatura média fica em torno de 21°C.

Quanto a distribuição dos índices pluviométricos, a área de estudo possui uma estação seca que vai de junho a agosto e uma estação predominantemente chuvosa, entre novembro e março, que concentra cerca de 65% da precipitação anual. Cabe ressaltar, no entanto, que o efeito local da presença da Serra do Mar faz o clima tender para o tipo tropical mesotérmico chuvoso, onde os verões são brandos mesmo no mês com menor pluviosidade, esta ultrapassa os 60 mm e ressalta-se, ainda, que quanto mais altas forem as cotas altimétricas, maior tende a ser a precipitação e menores são as temperaturas. Em toda a Região Serrana, no inverno, as frentes frias originárias da massa polar atlântica podem também provocar geadas (EPIA AMBIENTAL, 2003). Finalmente, com relação aos ventos, verifica-se uma

predominância na direção NE, com intensidade fraca, que se intensifica significativamente (rajadas fortes) e vira para SW, quando da chegada de frentes frias.

De acordo com as Normais Climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia do período 1961-1990 na Estação Climatológica de Nova Friburgo (a mais próxima da área de estudo, apresentadas na Tabela 2.1, de fato as temperaturas médias mais altas são registradas no trimestre janeiro/fevereiro/março e as mínimas, principalmente, entre junho e agosto. Observa-se ainda que a maior parte do total precipitado se verifica nos meses de verão, dados estes corroborados pelos registros da Estação Pluviométrica do Parque Nacional da Serra dos Órgãos (Tabela 2.2). Cabe ressaltar as altíssimas acumuladas pluviométrica registradas no período 1931 – 1971, quando a média anual ultrapassou os 2810mm e a maior a acumulada mensal registrada atingiu a marca de 968mm. A Tabela 2.3 apresenta um resumo das principais características climáticas regionais e locais da área de estudo.

Tabela 2.1 – Normais Climatológicas no período entre 1961 e 1990 na estação climatológica de Nova Friburgo. Fonte: INMET (<http://www.inmet.gov.br/>)

	PRESSÃO ATMOSFÉRICA [hPa]	TEMPERATURA [°C]	UMIDADE RELATIVA [%]	PRECIPITAÇÃO ACUMULADA [mm]	NEBULOSIDADE [0-10]	INSOLAÇÃO TOTAL [horas]
JAN	917,1	21,2	77	208,6	6	153,2
FEV	917,7	21,4	78	167,2	6	136,6
MAR	918,8	20,9	78	151	6	157,3
ABR	920,3	18,7	82	72,3	6	133,2
MAI	921,2	16,2	82	45,6	6	158,7
JUN	921,9	14,7	83	26,6	5	132,0
JUL	922,5	14	83	19,7	6	149,1
AGO	921,7	15,2	81	22,9	5	166,1
SET	920,1	16,6	80	41,3	6	139,4
OUT	918,9	18,3	81	83,4	7	97,3
NOV	916,8	19,5	80	169,2	7	109,2
DEZ	916,5	20,3	80	238,7	7	143,5
ANUAL	919,5	18,1	80	1246,3	6	1675,4

Tabela 2.2 - Precipitação na Estação Pluviométrica do Parque Nacional da Serra dos Órgãos pertencente ao INMET entre 1931 e 1975 (FIDERJ - 1978).

Meses	Média (mm)	Mínimo observado (mm)	Máximo observado (mm)
Janeiro	360,8	72,3	968,8
Fevereiro	320,5	50,8	648,5
Março	339,4	129,2	709,1
Abril	231,4	0,0	497,3
Maio	124,8	11,0	249,8
Junho	87,8	0,0	183,3
Julho	89,1	0,0	259,0
Agosto	111,9	10,1	238,6
Setembro	139,9	7,1	275,0
Outubro	226,2	21,1	428,1
Novembro	372,7	123,0	737,2
Dezembro	408,2	47,1	746,7
Total anual	2813,3	800,5	3276,7

Tabela 2.3 - Resumo das características climáticas na área de estudo.

Parâmetro	Descrição
Regionalidade	Sofre influência do clima quente das latitudes baixas e do clima ameno das latitudes médias, sendo a área, considerada pela maioria dos autores, como inserida numa Região Térmica Tropical Úmida.
Classificação segundo Köppen	Clima tropical, classe Aw (“A”: clima quente e úmido e “w”: com chuvas de verão)
Influência do efeito de relevo	Entre os Km 86 e 93 (passando, por isso, a receber a classificação Cwb -Clima Tropical de Altitude, com verões úmidos, invernos secos)
Temperaturas médias no Alto Soberbo (km 89, altitude 1000m)	Anual = 18°C inverno = 15°C verão = 21°C
Umidade	Considerada elevada, fortemente influenciada pelo aporte marítimo, com média anual > 80%.
Principais influências (na pluviometria)	Sistemas Frontais Sistemas Convectivos Linhas de Instabilidade ZCAS Chuvas Orográficas (associação relevo - altitude - maritimidade)

2.1.3 Vegetação

Predomina na área de estudo vegetação da Mata Atlântica com duas de suas subdivisões, a Floresta Ombrófila Densa Submontana (FSM) e a Floresta Ombrófila Densa Montana (FM) (MME, 1983a). A Figura 2.2 apresenta a distribuição aproximada das zonas de predominância das duas tipologias de vegetação predominantes nas encostas a montante e a jusante da BR 116 ao longo dos Km 86 e 104.

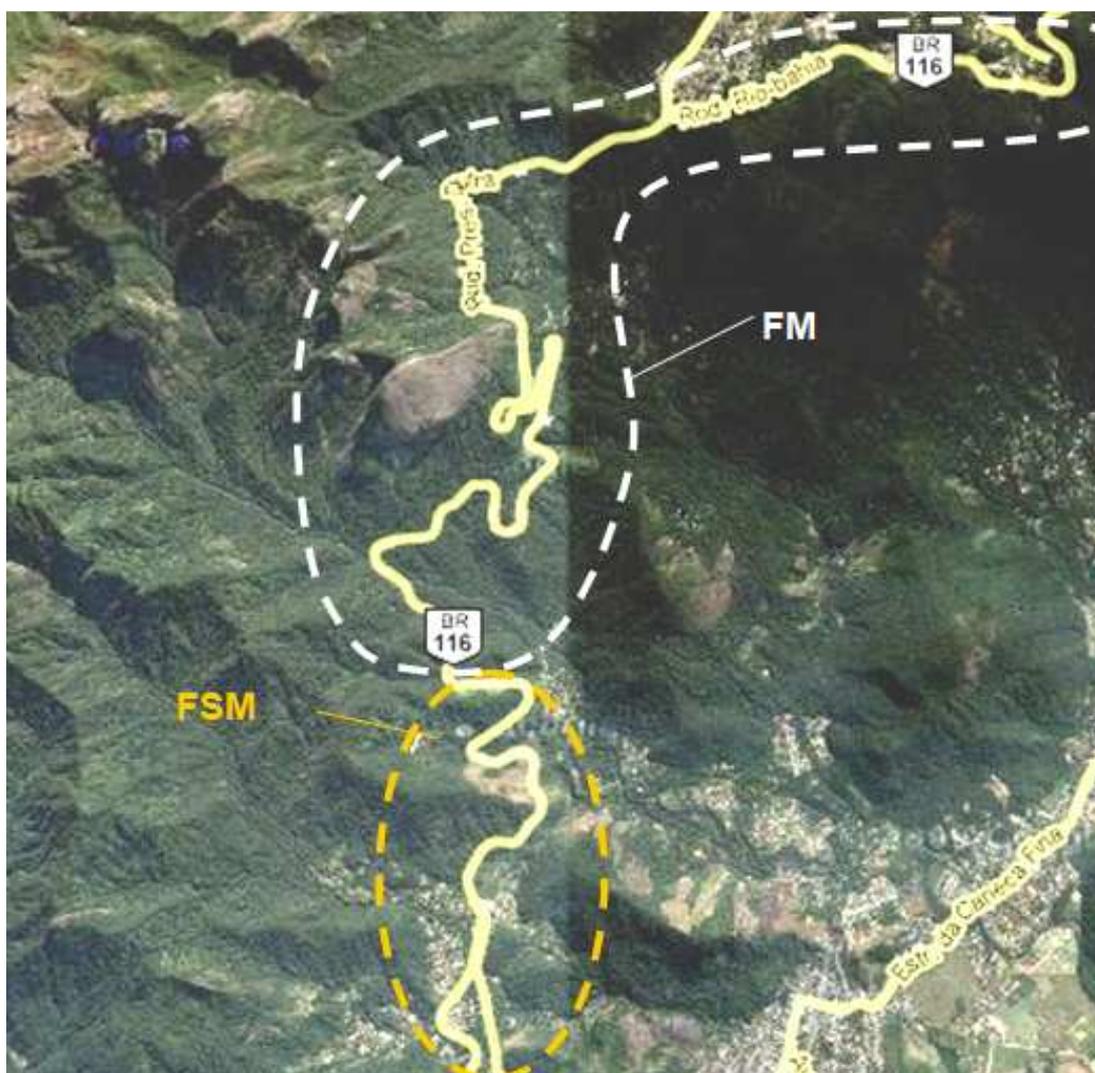


Figura 2.2 – Distribuição das zonas de predominância das duas principais tipologias de vegetação (Floresta Ombrófila Densa Montana – FM e Floresta Ombrófila Densa Submontana - (FSM) ao longo dos Km 86 e 104 da BR 116 RJ.

A Floresta Ombrófila Densa Submontana possui grande preponderância entre as cotas altimétricas 50m e 500m, correspondente aproximadamente, aos Km 97 a 103. Esta tipologia de vegetação apresenta altura das copas das árvores maduras entre 25 e 30m. Sua preservação, entretanto, foi duramente afetada pela forte influência (destruição) antrópica durante os Sec. XVIII e XIX, quando foi substituída pelo plantio de café ou criação de gado (transformação em pastagens). Posteriormente, no Sec. XX a vegetação natural continuou a ser destruída pela crescente ocupação de sítios. Atualmente, nas margens da rodovia é fácil observar a introdução de espécimes exógenas, tais como as gramíneas, as bananeiras, as jaqueiras e as amendoeiras, frequentemente utilizadas pelos habitantes daquela região. Bastante comum são, também, os trechos de degradação da FSM ao longo da Rodovia que foram atingidos por escorregamentos. Nestes locais, uma vegetação secundária composta por gramíneas e arbustivas (Figura 2.3) cresce sobre a cicatriz do movimento com rapidez graças, principalmente, às favoráveis condições de temperatura e umidade locais.

A Floresta Ombrófila Densa Montana (vide Figura 2.4), por outro lado, encontra-se mais bem preservada, graças à dificuldade de ocupação das encostas da região (mais declivosas e mais elevadas) e em função da implantação do Parque Nacional da Serra dos Órgãos (PARNASO), criado em 1939. Esta tipologia é principalmente predominante entre as cotas altimétricas 500m e 1500m, o que corresponde aos quilômetros 86 e 96 da Rodovia. No estrato dominante a copa das árvores atinge os 25m de altura sendo pequena a frequência de introduções exógenas, normalmente restritas às margens da rodovia e principalmente constituídas de gramíneas.



Figura 2.3 – Floresta Ombrófila Densa Submontana (FSM) com detalhe para trecho de regeneração (linha tracejada) após ocorrência de deslizamento de encosta.



Figura 2.4 – Ocorrência da Floresta Ombrófila Densa Montana (FM) na parte superior do trecho de Rodovia estudado.

2.1.4 - Geomorfologia

Estudo de caráter regional de grande envergadura, o Projeto RADAMBRASIL (MME,1983b) produziu em 1983 o Mapa Geomorfológico das Folhas SF.23/24 Rio de Janeiro/Vitória, na escala de 1:1.000.000, que indica como Domínio Morfoestrutural da área do estudo a Faixa de dobramentos remobilizados. De acordo com aquele Mapa, a região em questão é marcada pela presença das escarpas e reversos da Serra do Mar, onde ocorreram intensos processos de dissecação homogênea (fluvial) e diferencial (estrutural).

Mais recentemente, o Mapa de Unidades Geomorfológicas do Estado do Rio de Janeiro (CPRM, 2000), parcialmente apresentado na Figura 2.5, indica que a maior parte (Km 89 a 104) do trecho de Rodovia estudado encontra-se dentro dos limites da unidade geomorfológica Escarpas das Serras do Couto e dos Órgãos (simbologia 1.4.4. no Mapa). Esta unidade é descrita no Projeto Rio de Janeiro (CPRM, 2000) como “uma muralha montanhosa, alçada por tectônica, que delimita o recôncavo da bacia da Baía de Guanabara”. De fato, a montante do trecho de Rodovia estudado existem impressionantes paredões rochosos subverticais associados a montanhas de com altitudes superiores a 1.500m como, por exemplo, o Dedo de Deus, com 1692m, um dos ícones turísticos da Região e a Pedra do Sino, com 2.263m, ponto culminante da Serra dos Órgãos. Estes paredões subverticais, cumeados por pináculos rochosos resultaram do processo de erosão diferencial de rochas graníticas a granodioríticas submetidas a um padrão de diaclasamento ortogonal. (CPRM, op.cit.)

Entre os Km 86 e 89 (Alto do Soberbo) a Rodovia ingressa na região de predomínio da unidade Planalto do Reverso da Serra dos Órgãos (simbologia 1.5.2. no citado Mapa de Unidades Geomorfológicas) onde, as cotas altimétricas permanecem praticamente constantes, em torno dos 950m, nos 4 quilômetros de extensão do trecho da rodovia, não ocorrendo, portanto, grandes aclives. Por outro lado, na Unidade geomorfológica Escarpas das Serras do Couto e dos Órgãos, os trechos em forte aclive ao longo da Rodovia são significativos e o desnível vencido entre os quilômetros 104 (base da Serra em Guapimirim) e 89 é de aproximadamente 950m.

Ainda de acordo com o Mapa de Unidades Geomorfológicas, a unidade geomorfológica Escarpas das Serras do Couto e dos Órgãos está inserida nos Domínios Morfoesculturais das escarpas serranas do Estado do Rio de Janeiro que, por sua vez, pertencem ao Domínio Morfoestrutural do Cinturão Orogênico do

Altântico. Já a unidade Planalto do Reverso da Serra dos Órgãos pertence ao Domínio Morfoescultural denominado Planaltos Residuais.

A Carta de Declividade e Erosão das Terras do Estado do Rio de Janeiro (HIRANO *et al*, 1980) revela que o trecho da Serra dos Órgãos da BR 116 encontra-se em uma região onde as declividades da superfície variam desde 45% até situações muito superiores a 100% (correspondentes a 45° de inclinação). Nesta Carta a região é classificada como “Terras” montanhosas a escarpadas, sendo sua suscetibilidade quanto à erosão entre moderada e severa.

Além da alta suscetibilidade ao desenvolvimento de processos erosivos, a região também é citada no Projeto Rio de Janeiro (CPRM, 2000) como sendo de alta frequência as demais ocorrências de escorregamentos e enxurradas em geral: “(...) Essa unidade mantém sua cobertura florestal preservada, principalmente dentro do Parque Nacional da Serra dos Órgãos. Todavia, é comum a ocorrência de movimentos de massa nas escarpas florestadas, demonstrando, assim, o processo de evolução geomorfológica dessa unidade de relevo. Assim sendo, eventos de enxurrada durante eventos pluviais críticos podem promover problemas em localidades situadas nos altos cursos de rios em posição de sopé da escarpa (...)” (CPRM, *op.cit.*).

A Figura 2.6 apresenta uma imagem de satélite (vista oblíqua em 3-D) obtida no site do Google.com na Internet, onde se é possível se observar os limites das duas unidades geomorfológicas indicadas no Mapa de Unidades Geomorfológicas do Estado do Rio de Janeiro (CPRM, 2000) como sendo predominantes na área de Estudo.

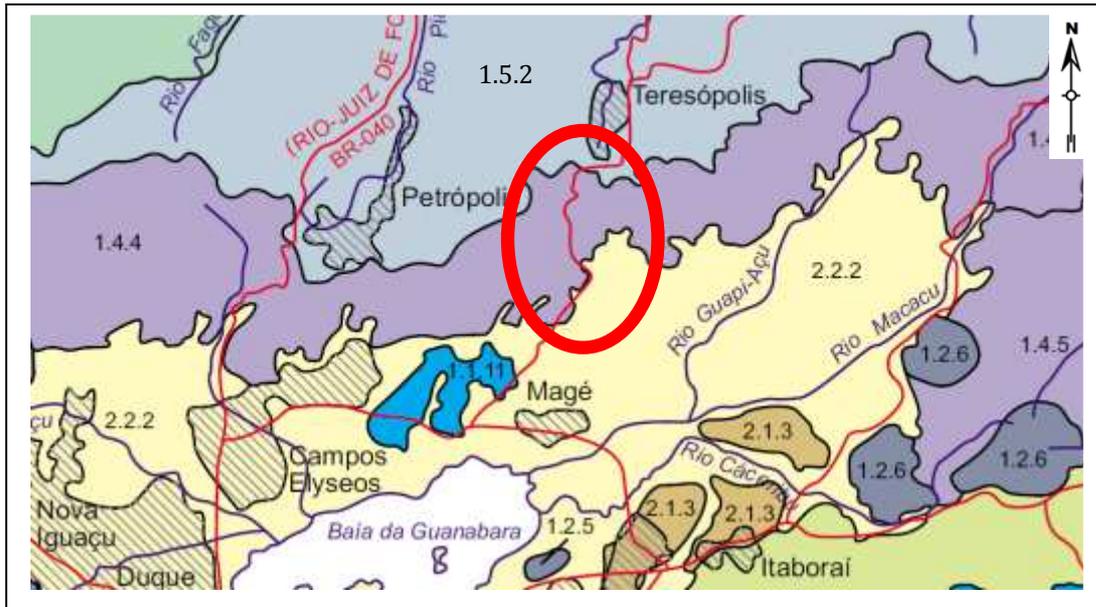


Figura 2.5 - Mapa de Unidades Geomorfológicas do Estado do Rio de Janeiro, escala 1:250.000 (CPRM, 2000).

DOMÍNIOS MORFOESTRUTURAIS: 1- CINTURÃO OROGÊNICO DO ATLÂNTICO
 DOMÍNIOS MORFOESCULTURAIS: 1.4 - ESCARPAS SERRANAS

- Unidade Geomorfológica (1.4.4): Escarpa das serras do Couto e dos Órgãos
- Unidade Geomorfológica (1.5.2): Planalto do Reverso da Serra dos Órgãos
- Unidade Geomorfológica (2.2.2): Baixadas da Baía de Guanabara, Sepetiba e Restinça da Marambaia



Figura 2.6 – Imagem de satélite com limites das unidades geomorfológicas em relação ao traçado da Rodovia BR 116.

2.1.5 - Aspectos Geológico-Geotécnicos

Comparativamente aos demais estados do Território Nacional, o Estado do Rio de Janeiro foi aquele que mais cedo deu início a projetos de levantamentos geológicos sistemáticos, que, gradativamente, se detalharam e se complementaram. Os diversos trabalhos técnicos (em particular os mapeamentos regionais, as caracterizações petrológicas e os levantamentos geo-estruturais) foram produzidos pelo Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil Nacional (e, posteriormente, pela Divisão de Geologia e Mineralogia do Departamento Nacional da Produção Mineral) até a primeira metade do século XX por ilustres geólogos que lá trabalharam, tais como Orville Derby, Otávio Barbosa, Djalma Guimarães, Alberto Lamago e particularmente G. F. Rosier, cujo trabalho de 1957 sublinhou a grande complexidade geo-estrutural da Serra do Mar, em especial no sub-trecho da Serra dos Órgãos (Figura 2.7). Cabe ressaltar, que já em 1939, sensibilizado pela impressionante beleza cênica e pela abundância em riqueza natural (fauna, flora, geformas, etc.) daquele trecho montanhoso, o Governo Federal transformou uma área com cerca de 10.600 ha no terceiro Parque Nacional Brasileiro, o Parque Nacional da Serra dos Órgãos, fato que incentivou, ainda mais, a realização de estudos detalhados daquela especial região.

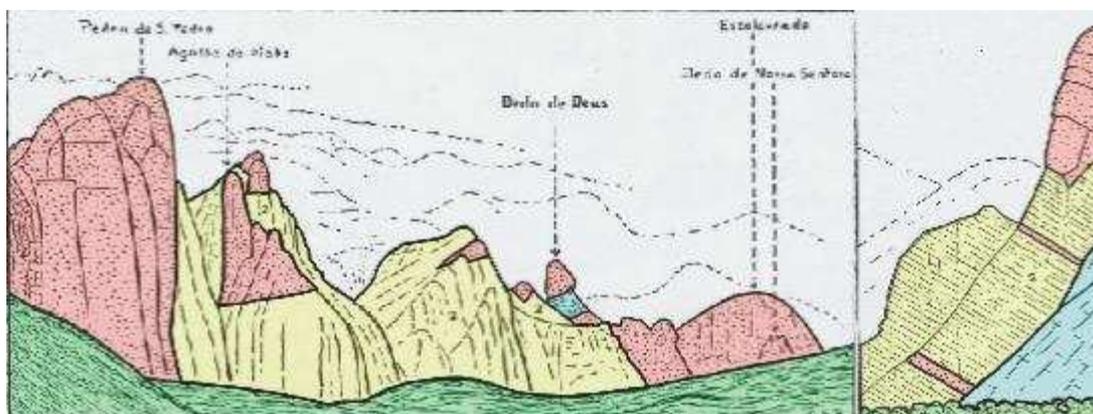


Figura 2.7 – Seções Geológicas da Serra dos Órgãos retiradas e modificadas do trabalho de Rosier (1957) apresentando a relação entre rochas graníticas (cor vermelha) e gnáissicas (cores amarelo e azul), retirado página eletrônica na Internet: http://www.caminhosgeologicos.rj.gov.br/novo/placas_jpg/Dedo_de_Deus.jpg do Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro (DRM-RJ).

Com o avanço do conhecimento geológico geral e das técnicas de aerofotografia, microscopia eletrônica e imageamento (radar e satélites), entre os anos de 1960 e 1985, verificou-se novo salto significativo no conhecimento daquela

impressionante trecho montanhoso do Estado do Rio de Janeiro. Neste período destacaram-se o Projeto RADAMBRASIL (MME, 1983b) e o Projeto Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo (FONSECA e CAMPOS, 1978), cujos produtos de mapeamento integraram as informações na escala 1:1.000.000. Ainda naquele intervalo de anos o Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro, publicado em 1977, pelo DRM em convênio com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) consubstanciou a geologia do Estado na escala 1:400.000 e o Projeto Carta Geológica do Rio de Janeiro chegou ao semi-detalle, produzindo Cartas Geológicas na escala 1:50.000. Neste Projeto, coordenado pelo Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro (DRM-RJ), os mapeamentos geológicos das Folhas em escala 1:50.000 foram executados por instituições distintas, além das diversas folhas terem sido elaboradas em intervalos de alguns anos. Estes fatos levaram à ocorrência de incongruências lito-estratigráficas nos contatos geológicos ao longo dos limites de algumas Folhas. O trecho entre os quilômetros 86 e 104 da BR 116 RJ foi particularmente prejudicado, pois encontra-se seccionado em 4 Folhas (Itaboraí, Petrópolis, Itaipava e Teresópolis), cujos mapeamentos geológicos foram levados a cabo pelas empresas GEOSOL – Geologia e Sondagens Ltda. (Folha Teresópolis em 1980), GEOMITEC Ltda. (Folha Itaboraí em 1981) e pelo Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ – IG/UFRJ (Folha Petrópolis em 1979 e Folha Itaipava em 1984).(vide Figura 2.8)

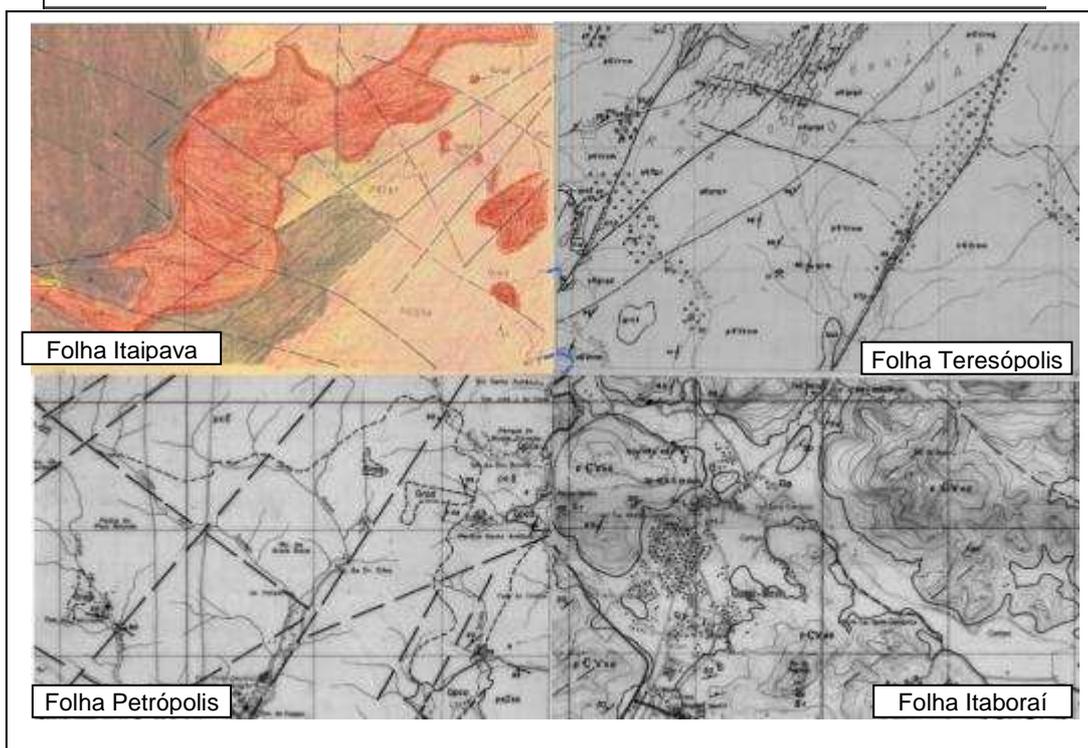
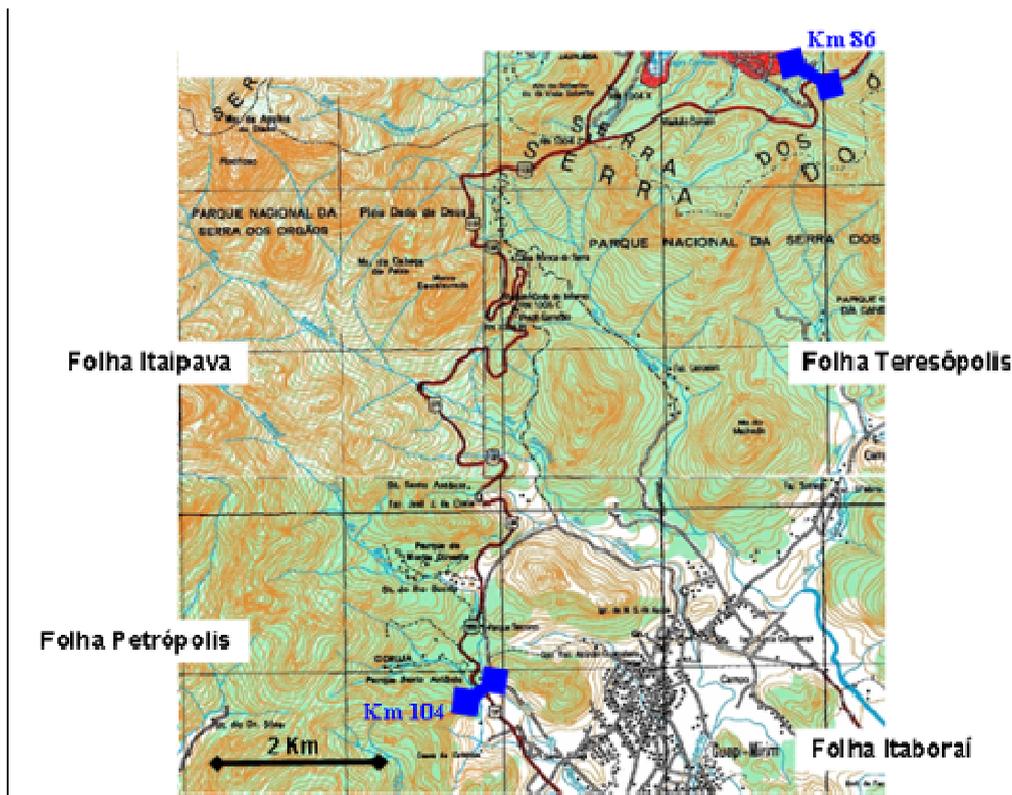


Figura 2.8 - Disposição das Folhas Petrópolis, Itaipava Teresópolis e Itaboraí, escala 1:50.000: superior mostrando os produtos topográficos (IBGE), com os limites (KM 86 a 104) do trecho da BR 116 RJ objeto do presente estudo e inferior as Cartas Geológicas . A BR 116 RJ no trecho de subida da Serra dos Órgãos meandras pelas quatro Folhas. As Cartas geológicas produzidas para cada Folha foram efetuadas em diferentes períodos, por diferentes instituições, gerando sérias incongruências entre os produtos.

Mais recentemente, integrando e atualizando o conhecimento geológico acumulado nos estudos anteriores, o Projeto Rio de Janeiro, desenvolvido pelo atual Serviço Geológico do Brasil, produziu o Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro na escala 1:500.000 (CPRM, 2000). Este mapa, apresentado parcialmente na Figura 2.9, onde está indicado do trecho da Serra dos Órgãos da BR 116/RJ objeto de estudo da presente Tese. Neste Mapa, o trecho de interesse da BR 116 RJ desenvolve-se por sobre duas macro-unidades lito-estratigráficas: a Unidade Serra dos Órgãos (Ng2s) e a Unidade Santo Aleixo (Ng2ss).

As rochas da macro-unidade Serra dos Órgãos possuem idade neo-proterozóica (aproximadamente 600 m.a) e são basicamente constituídas Hornblenda-biotita granitóides, de granulação grossa e composição expandida de tonalítica a granítica. Estas rochas mostram texturas e estruturas magmáticas preservadas, com foliação tangencial em estado sólido superimpostas. Enclaves de paleodiques anfibolíticos são comuns e facilmente observados.

A macro-unidade Santo Aleixo também foi datada como de idade neo-proterozóica, contudo com alguns poucos milhões de anos a mais do que as rochas macro-unidade Serra dos Órgãos. Esta macro-unidade corresponde a um fácies marginal do Batólito Serra dos Órgãos e apresenta como litologias predominantes os granada-hornblenda-biotita granodioritos, ricos em xenólitos de paragneisse, parcialmente fundido e assimilado (migmatito de injeção). Intrusões tardias (veios e diques) de leucogranito tipo-S de variadas espessuras são comumente observados.

A evolução deste conhecimento geológico sobre a Serra dos Órgãos levou ao atual consenso de que suas formas escarpadas e puntiformes são devidas a dois principais fatores de origem geológica: um complexo sistema de falhas e o desenvolvimento de processos de erosão diferencial devido à intercalação de rochas com diferentes resistências às ações intempéricas. A formação e as reativações do sistema de falhas (planos de ruptura nas rochas onde ocorre movimento relativo entre os blocos rochosos) possibilitaram o levantamento de grandes blocos enquanto que outros foram rebaixados, gerando assim grandes desníveis no relevo com imponentes escarpas associadas. Os processos de erosão diferencial ocorrem tão intensamente na Região da Serra dos Órgãos porque as rochas graníticas, com composições homogêneas e propriedades isotrópicas possuem maior resistência à alteração do que as rochas gnáissicas, cuja presença de estruturas planares (principalmente a xistosidade) e o arranjo linear dos minerais favorecem a percolação da água e a consequente aceleração dos processos de alteração e degradação das rochas. No

caso da Serra dos Órgãos, as rochas graníticas encontram-se topograficamente por sobre as rochas gnáissicas e assim os pontos mais altos das montanhas resistem mais do que os gnaisses, que se alteram rapidamente quando em contato com a água que penetra pelas fraturas. As Figuras Figura 2.10 e Figura 2.11 apresentam desenhos esquemáticos que explicam a morfologia atual da Serra dos Órgãos em função de suas características geológicas.

Quanto as unidades geotécnicas presentes na área estudada, destacam-se, os depósitos de tálus/colúvio (vide Figura A1.31), as camadas de solo residual jovem que gradam para horizontes de rocha alterada e os afloramentos do maciço rochoso propriamente ditos. Os depósitos de tálus/colúvio ocorrem com mais frequência entre os quilômetros 100 e 104, mais próximos à base da Serra. Alguns segmentos destes depósitos são atravessados pela rodovia e permitem a observação de sua constituição básica, ou seja, uma matriz terrosa areno-argilosa que envolve material rochoso de granulometria variada, desde pedregulhos até matacões. Conforme a rodovia galga as cotas mais elevadas na Serra, o perfil de solo mais frequente passa a ser o de uma camada delgada de colúvio (espessura em geral menor do que 1,5m) assente sobre o solo residual silto arenoso, com pedregulhos, normalmente pouco espesso (até 2,0m), porém não raro associado a horizontes de solo litólico (grande percentual de material rochoso fragmentado e alterado) que grada para o maciço rochoso menos alterado. Este perfil de alteração tende a ser menos espesso com a inclinação das encostas, de tal modo que nos segmentos muito declivosos, o maciço rochoso - predominantemente gnáissico ou granítico e fraturado a muito fraturado - aflora.

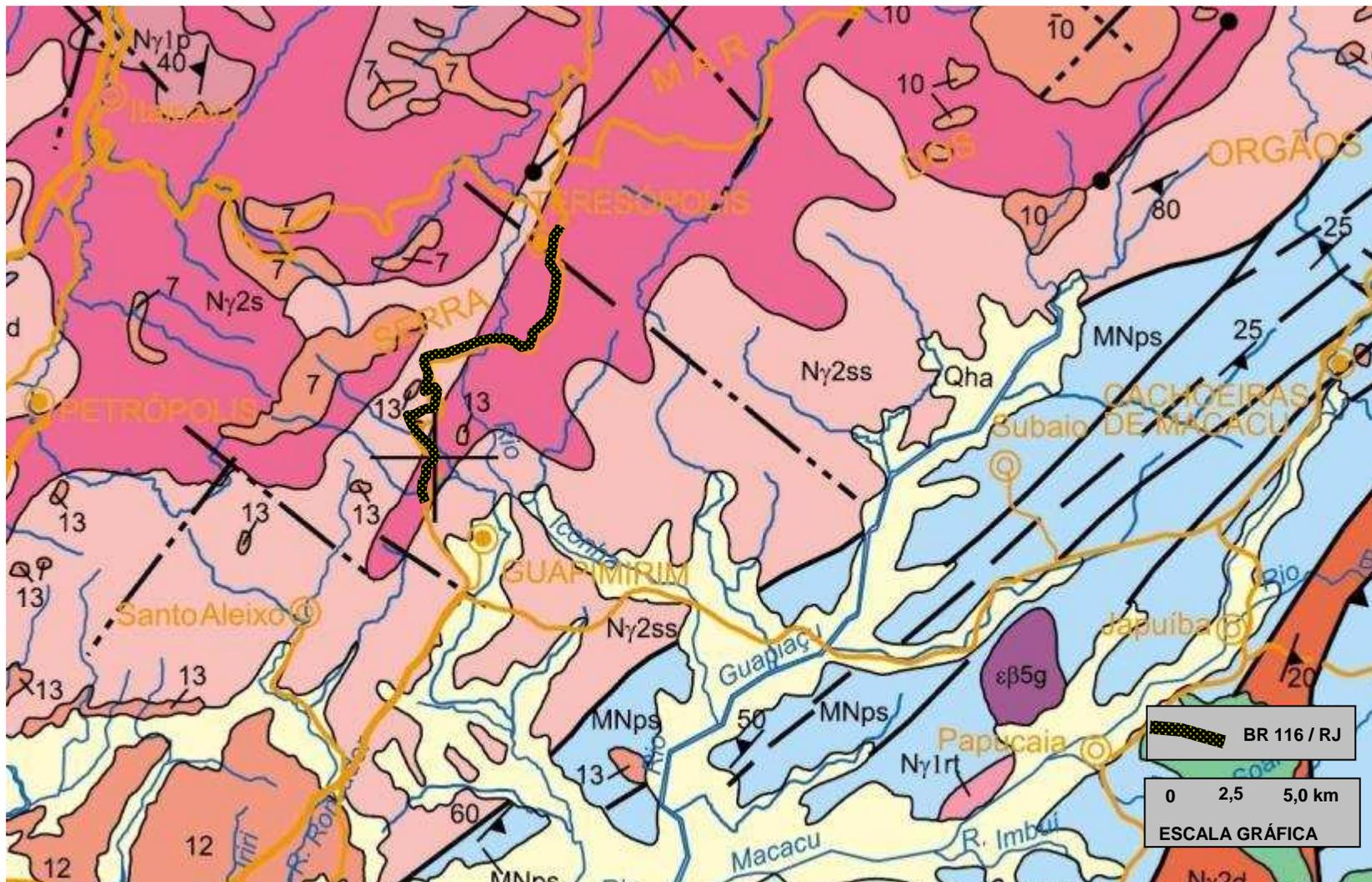


Figura 2.9 – Mapa Geológico Regional (CUNHA *et al.*, 2000) com a indicação do trecho entre os quilômetros 86 e 104 da Rodovia BR 116/RJ (segmento da Serra dos Órgãos). De acordo com o este Mapa, o trecho da Rodovia atravessa duas macro-unidades lito-estratigráficas: Unidade Serra dos Órgãos (Ng2s) e Unidade Santo Aleixo (Ng2ss).



Figuras 2.10 e 2.11 – Seções geológicas esquemáticas retiradas da página eletrônica na Internet http://www.caminhosgeologicos.rj.gov.br/pg_placa.php?p=38 do Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro (DRM-RJ).

A Figura 2.10 mostra o processo de soerguimentos e rebaixamentos ao longo de um sistema de falhas geológicas que dão origem a grandes desníveis de relevo em parte do Estado do Rio de Janeiro como, por exemplo, a região da Serra dos Órgãos (sub-trecho da Serra do Mar) que se elevou e a região da Baía de Guanabara que se rebaixou.

A Figura 2.11 apresenta uma seção parcial da Serra dos Órgãos onde se observa a presença de rochas graníticas nos topos das montanhas, mais resistentes à alteração, sobrepostas as rochas gnáissicas, menos resistentes.

2.1.6 - Caracterização Fotográfica

Em decorrência da diversidade de paisagística e da variabilidade dos aspectos fisiográficos do trecho da Rodovia estudado, optou-se incluir no presente documento uma amostragem fotográfica, obtida em julho de 2010, dos 18 quilômetros (km 86 a km 104) que compõe a extensão da área abrangida pelo presente trabalho. Nesta sequência de fotografias o autor tenta evidenciar importantes características de cada trecho (intervalo(s) quilométrico) abrangendo contextos geológicos e geotécnicos, principalmente em relação aos escorregamentos. Algumas imagens panorâmicas da Rodovia também foram incluídas objetivando passar aos futuros leitores uma melhor noção global do trecho rodoviário objeto da presente Tese. Cabe ressaltar, entretanto, que já na ocasião da amostragem fotográfica, estavam em início os trabalhos de implantação da 3ª faixa de rolamento na Serra. A execução desta nova faixa demanda a realização escavações, aterros bem como obras de estabilização e drenagem que poderão alterar um pouco a paisagem retratada nas fotografias ora apresentadas. O autor acredita, entretanto, que as principais características dos trechos da Rodovia serão mantidas. (Ver Anexo 1).

2.2 - Estudos Anteriores de Correlação entre Chuvas e Movimentos de Massa no Brasil e no Mundo

2.2.1 - Introdução

Ocorrências de chuvas com intensidades e durações diversas têm sido reconhecidas como principal agente desencadeador de movimentos de massa. De acordo com TATIZANA *et al* (1987b) e DELMONACO *et al* (1995), a influência da precipitação nos movimentos se dá, basicamente, a partir dos seguintes processos, que podem ocorrer individualmente ou em conjunto:

- Alteração dos parâmetros de resistência dos materiais: diminuição da coesão aparente (diminuição da sucção) em virtude do aumento da umidade do solo, dissolução da cimentação;
- Aumento da sollicitação externa: aumento do peso específico dos materiais que formam a encosta;
- Avanço da frente de saturação no maciço, provocando o desenvolvimento de poropressões positivas nos solos, subpressões nas descontinuidades rochosas e forças de percolação;
- Alteração do perfil da encosta por erosão de materiais.

Na região sudeste do Brasil, eventos de chuvas intensas com consequentes escorregamentos em encostas são bem frequentes, de tal modo que, praticamente a cada ano, dezenas de novos episódios se avolumam ao já extraordinário conjunto de registros históricos. Tendo em vista que, em geral, estes processos trazem sérias consequências negativas para a sociedade, é relativamente grande o número de investigadores, em todo o mundo, que vêm (mais intensamente a partir da década de 1970) se esforçando para estabelecer os índices pluviométricos capazes de deflagrar os diferentes tipos de processos de ruptura de taludes (naturais e antrópicos). Um dos primeiros trabalhos de maior relevância sobre este assunto foi o de ENDO (1970). Neste estudo, este autor determinou que as avalanches nas montanhas da Ilha de Hokkaido (Japão) seriam desencadeadas a partir de intensidades pluviométricas de 200 mm/dia. Ainda década de 1970, CAMPBEL (1975), estudando escorregamentos nas Montanhas de Santa Mônica (Califórnia, EUA), verificou que uma grande parcela dos casos dos escorregamentos (movimentos de massa *latu sensu*) tinha como causa primordial o aumento da poropressão no solo, em

função do aporte das águas das chuvas, opinião reforçada posteriormente por WILSON (1989), que também investigou escorregamentos em áreas montanhosas da Califórnia.

Nas rodovias que cortam as áreas montanhosas do sudeste brasileiro, entretanto, além das movimentações devidas aos processos de aumento da poropressão nos solos, as águas das chuvas também são responsáveis por outros tipos de processos de instabilização de massas terrosas e/ou rochosas, que podem ter origem:

- Em focos erosivos desenvolvidos em aterros;
- Em solapamentos localizados nas margens de rios;
- Em rompimento/transbordamentos de sistemas de drenagem e
- No aumento da pressão das águas nas diáclases das rochas.

De um modo geral, as condições das águas de subsuperfície que têm influência direta nos processos de ruptura dos taludes decorrentes de chuvas são resultantes da interação entre os processos de infiltração, as características geológicas dos maciços terrosos e rochosos, os índices de umidade antecedentes e a história pluviométrica da região (WIECZOREK, 1996). Em face da grande variabilidade de tantas condicionantes (geoestruturais, litológicas, topográficas, hidrogeológicas, pluviométricas, etc.) estes fenômenos ainda não são integralmente entendidos, o que dificulta, sobremaneira, a predição, com precisão, dos escorregamentos induzidos pelas chuvas. Para áreas relativamente pequenas (taludes bem delimitados) e onde o processo de instabilização é lento, a instrumentação geotécnica (piezômetros, medidores de nível d'água, inclinômetros e indicadores de deslocamento superficial) tende a oferecer bons resultados, em relação a identificação daqueles processos em especial quando se consegue associar o aumento da velocidade de deslocamento da massa monitorada com risco de ruptura integral. Entretanto, para regiões de grande amplitude (vertentes de serras, bacias hidrográficas, territórios municipais, etc.), com predomínio de escorregamentos rápidos a muito rápidos e onde a pluviometria é o principal agente deflagrador do processo, o monitoramento das intensidades pluviométricas e das pluviometrias acumuladas constitui, atualmente, no melhor método para a avaliação da probabilidade de ocorrência dos escorregamentos. Uma

vez definidos os limiares pluviométricos críticos (intensidades ou acumuladas pluviométricas capazes de deflagrar escorregamentos) e monitorada a pluviometria (em tempo real, preferencialmente), torna-se possível a previsão em curto prazo e com um razoável nível de confiança, da iminência de ocorrência daqueles processos de instabilização, sempre que aqueles limiares pluviométricos críticos são atingidos. Existem, entretanto, diferentes modelos e metodologias para a definição destes limiares pluviométricos.

A partir meados da década de 1970, investigadores do Hong Kong Geotechnical Engineering Office (GEO) começaram a se dedicar mais profundamente sobre as correlações entre chuvas e escorregamentos no território de Hong Kong, tendo Peter Lumb se destacado como pioneiro neste campo. Trata-se de um marco neste campo da ciência porque, até então, os estudos em regiões tropicais eram, de um modo geral, pouco aprofundados. Segundo PEDROSA (1994), o estudo de Lumb foi primeiro a indicar a relevância da chuva antecedente na correlação com a estabilidade de taludes e combiná-la a diversos fatores (altura do corte, efeito da massa, elevação do nível d'água, tipo de ruptura, capacidade de infiltração do solo, etc.) na avaliação da estabilidade dos taludes. Após analisar a pluviometria e a ocorrência de escorregamentos no período entre 1950 e 1973, LUMB (1975) encontrou boa correlação entre a pluviometria acumulada em 15 dias e a precipitação diária (mm/24h, no dia do evento). Segundo aquele autor, a principal causa dos escorregamentos estava associada à sucção, devido ao aumento da umidade. Ainda segundo LUMB (op.cit.), eventos considerados severos (com registros de dezenas de escorregamentos) somente ocorriam quando a pluviometria acumulada em 15 dias ultrapassava 200 mm e eventos desastrosos (com deflagração de centenas de escorregamentos) demandavam, pelo menos, 350 mm acumulados nos 15 dias anteriores ao evento. Além disso, a pluviometria diária necessária para a ocorrência de eventos severos e desastrosos deveria ser de, pelo menos, 100 mm/24h. A Figura 2.12 ilustra a proposta de LUMB (1975).

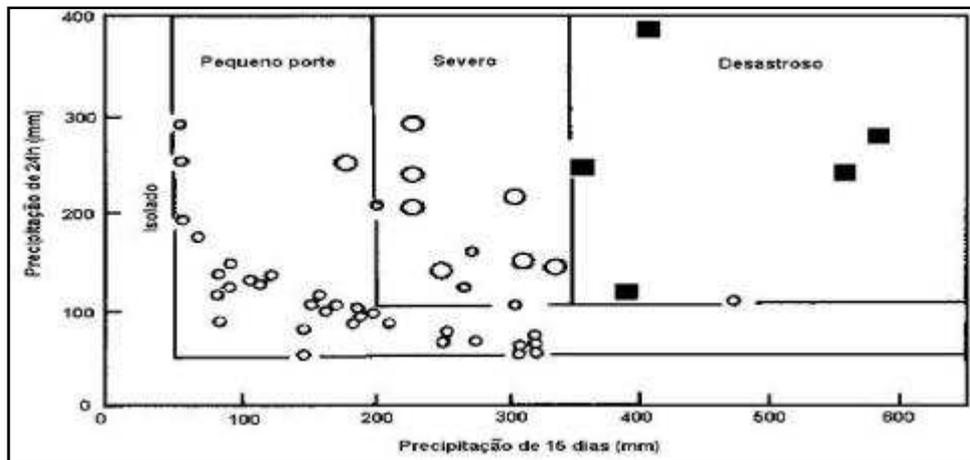


Figura 2.12 (modificada de LUMB, 1975) – Gráfico proposto por Peter Lumb mostrando a delimitação das zonas de severidade (número de ocorrências de escorregamentos) dos eventos pluviométricos, em função da precipitação acumulada em 15 dias e aquela nas registrada no dia do evento, na região de Hong Kong (China).

Passados alguns anos após a publicação dos estudos de Lumb em 1975, investigações conduzidas por BRAND et al (1984) e, posteriormente, por BRAND (1989) contestaram a influência da chuva antecedente na deflagração de escorregamentos na região de Hong Kong. Para estes autores, as precipitações pluviométricas nas últimas 24 horas e, particularmente, na última hora antes do evento constituíam os principais agentes detonadores dos escorregamentos. Esta afirmação seria ainda mais acertada para a categoria de eventos “majors” (principais), com ocorrência de mais do que 10 deslizamentos em 1 dia, os quais estariam, via de regra, associados às chuvas de curta duração e alta intensidade. De acordo com PEDROSA (1994), Brand admitia a relevância da infiltração das chuvas (e do conseqüente efeito na redução da sucção no solo) na deflagração dos escorregamentos. Entretanto, o autor defendia que, dada à alta permeabilidade dos solos residuais de Hong Kong, e considerando a predominância do modo de ruptura do tipo rápido naquela região, a possibilidade dos processos de instabilização ocorrerem devido a uma pequena e contínua infiltração (chuva de longa duração e baixa intensidade) era muito remota a improvável. A análise das chuvas que ocorreram em maio de 1992 em Hong Kong

(com registros de 350mm/24h, 110mm/h e 25mm/5 min) e dos escorregamentos por elas deflagrados reforçaram a tese de Brand da direta dependência de altas intensidades pluviométricas (de curta duração) para a deflagração dos movimentos de massa e da pequena importância das chuvas antecedentes (dias anteriores) no desencadeamento dos escorregamentos. A Tabela 2.4 apresenta as aspetos pluviométricos definidos por Brand em 1984 (in PEDROSA, 1994) associados à deflagração de escorregamentos.

Tabela 2.4 – Aspectos pluviométricos de eventos pluviométricos definidos por Brand em 1984 (in PEDROSA, 1994) associados à deflagração de escorregamentos na região de Hong Kong.

Eventos pluviométricos com ocorrência de escorregamentos	Eventos Principais (mais do que 10 ocorrências em 1 dia)	Eventos Secundários (até 10 ocorrências em 1 dia)
Normalmente associados às chuvas de curta duração e alta intensidade	Chuvas antecedentes de poucos dias não são importantes	Chuvas antecedentes de poucos dias podem ser significativas nos eventos de baixa intensidade e curta duração
70mm/h – limiar pluviométrico horário para a deflagração de escorregamentos	270mm/24h – limiar pluviométrico diário	100mm/h – limiar pluviométrico diário

Outros investigadores continuaram os estudos de correlação entre chuvas e escorregamentos na região de Hong Kong iniciados por Lumb e Brand nas décadas de 1970 e 1980. KAY e CHEN (1995) realizaram um interessante estudo, onde foram levantadas todas as ocorrências de precipitação pluviométrica diária acima de 50 mm, incluindo aquelas sem registros de escorregamentos. Correlacionado intensidade horária e pluviometria acumulada em 24 horas antes dos escorregamentos com os registros de movimentos de massa, aqueles autores estabeleceram 6 zonas probabilísticas (Figura 2.13 e Tabela 2.5) do risco de ocorrências severas (eventos com dezenas de escorregamentos). AU (1998) estudou escorregamentos induzidos por chuvas nas áreas urbanas e não urbana de Hong Kong. Em seu trabalho o autor

ratifica as conclusões de BRAND (1984) sobre a pequena influência das chuvas antecedentes nas rupturas dos taludes e a associação direta destes processos com as chuvas intensas de curta duração. Ainda segundo AU (op.cit.) a dimensão das rupturas estaria diretamente relacionada à intensidade, à extensão regional, à posição e à duração da chuva que deflagra os escorregamentos.

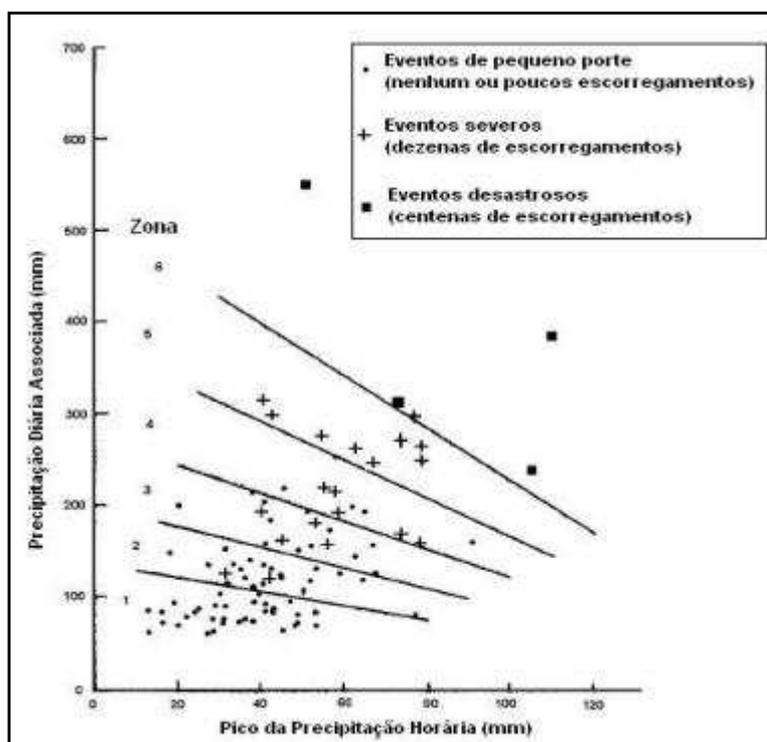


Figura 2.13 - Eventos com pluviometria acumulada a partir de 50mm/24h, considerando o Pico da Precipitação Horária, a Precipitação Diária e a categoria dos eventos em relação ao número de registros de escorregamentos, na região de Hong Kong (modificado de KAY & CHEN, 1995, in CASTRO, 2006).

Tabela 2.5 – Probabilidade de escorregamentos por zonas de precipitação (vide Figura 2.2) na região de Hong Kong (modificado de KAY & CHEN, 1995, in CASTRO, 2006).

Zona	Probabilidade de ocorrência de escorregamentos
1	Desprezível para ocorrências severas de escorregamento
2	5 – 25% para ocorrências severas de escorregamento
3	25 – 45% para ocorrências severas de escorregamento
4	45 – 75% para ocorrências severas de escorregamento
5	75 – 95% de para ocorrências severas de escorregamento
6	70-90% para ocorrências desastrosas de escorregamento

Ainda em relação aos estudos de correlação entre chuvas e escorregamentos, cabe relatar uma passagem ocorrida no ano de 1997, quando a Fundação GEO-RIO comemorou seus 30 anos de existência. O Professor A.W. Malone, então presidente do renomado Hong Kong Geotechnical Engineering Office (GEO), foi convidado a participar das comemorações, tendo apresentado uma palestra técnica (no Hotel Glória, no Rio de Janeiro) onde foram descritos vários dos serviços prestados pelo GEO bem como muitos dos parâmetros geotécnicos e hidrológicos adotados por aquele órgão técnico. Dentre os parâmetros apresentados naquela palestra, o Prof. Malone incluiu os critérios (pluviométricos) para decisão da emissão de alertas de deslizamentos na região de Hong Kong. Aqueles critérios estavam em vigor desde abril de 1989 (em contato oral com representantes do GEO, durante o XIX Simpósio Internacional de Deslizamentos, ocorrido no Rio de Janeiro em 2004, o autor teve a informação de que os critérios continuavam válidos) e consistiam em dois índices pluviométricos acumulados em 24 horas (Nível de Decisão – LD e Nível de Deslizamento – LL) e uma Intensidade Horária. Tratava-se de um documento de fácil aplicabilidade prática, cuja cópia foi cedida à GEO-RIO diretamente ao autor, que reproduz na Figura 2.14. As acumuladas e intensidades pluviométricos adotadas no documento são: $LD \geq 100\text{mm}/24\text{h}$, $LL \geq 175\text{mm}/24\text{h}$ e $LD \geq 70\text{mm}/\text{h}$.

LANDSLIP WARNING

(1) LANDSLIP WARNING CRITERIA:



(2) ISSUE LANDSLIP WARNING when :

- Level 'D' has been reached at the RO, and the forecast is that level 'L' will be reached in the next 4 hours.
- Level 'L' has been reach at the RO.

(3) CONSIDER ISSUING LANDSLIP WARNING when :

- Level 'D' has not been reach at the RO, but the forecast is that level 'L' will be reached in the next 4 hours.
- Seven or more of the automatic gauges in Hong Kong and Kowloon satisfy one of the above criteria.
- Ten or more of all automatic gauges (including New Territories gauges) satisfy one of the above criteria.
- Rainfall intensity at any automatic gauge in Hong Kong or Kowloon has exceeded 70 mm in one hour.

(Notes : (1) These four criteria are for consideration only, and a decision to issue a Warning may or may not be taken when one of these is satisfied.

(2) The importance of automatic gauges in relation to squatter areas is shown on attached, as background information.)

(4) CANCEL LANDSLIP WARNING when :

It is judged to be no longer necessary, given the circumstances at the time. Factors to be considered include :

- (i) The magnitude and distribution of rainfall, both previous and forecast,
- (ii) The number of landslides reported both in total and in the past hour, and
- (iii) The time of day.

As a guide, the warning should be maintained for a least 5 hours, and may be necessary for 24 hours or more in some circumstances.

DECISION to issue or cancel a Landslip Warning must be taken jointly by the Principal Government Geotechnical Engineer and the Director of Royal Observatory or their designated representatives.

CONSULTATION must be always take place when level 'D' has been reached. If a Landslip Warning is not issued because the forecast is that level 'L' will not be reached, consultation must continue at at least hourly intervals until a warning is issued or conditions cease to be critical.

Bernard LAM Moon-tim
17 Arpil 1989

Figura 2.14 Critérios para emissão de Alerta de Deslizamentos adotados no Hong Kong Geotechnical Engineering Office – GEO (cedido ao autor pelo presidente do GEO em 1997). A sigla RO refere-se ao Royal Observatory, que é a instituição responsável pela medição pluviométrica oficial de Hong Kong.

Embora Hong Kong venha, nas últimas décadas, se destacando como importante centro de discussões e desenvolvimento de estudos sobre correlação entre chuvas e escorregamentos, importantes trabalhos foram e continuam a ser levados a cabo, em especial nos Estados Unidos, Reino Unido, Japão, Suíça, Nova Zelândia e Brasil.

Nos EUA, o já citado trabalho de CAMPBELL (1975) se uni aos estudos de NIELSEN *et al* (1976) e NIELSEN e BRABB (1977), para determinação de índices críticos na região da Baía de São Francisco, Santa Cruz e Los Angeles, na Califórnia. Aqueles autores, concluíram que chuvas com acumuladas contínuas entre 150 e 200mm sucedendo período chuvoso na faixa de 250 a 380mm eram suficientes para deflagrar ocorrências generalizadas nas encostas daquelas regiões. O estudo, entretanto, não definiu a duração das chuvas (intensidades horária ou diária), o que dificultou a implantação de sistemas de alerta de deslizamentos decorrentes de chuvas intensas. WIECZOREK (1987) também acrescentou conhecimentos nas correlações entre chuvas e escorregamentos, particularmente nas encostas de Santa Cruz (Califórnia), quando investigou ocorrências registradas entre 1975 e 1984. O autor concentrou seus estudos nos movimentos do tipo corrida de detritos tendo concluído que, para estes movimentos, que chuvas antecedentes (7 a 30 dias) com acumuladas superiores a 280 mm, quando associadas a chuvas horárias entre 50 e 100mm, apresentavam alta probabilidade de deflagração daqueles movimentos de massa. Naquele trabalho, Wieczorek também correlacionou espessura das corridas com intensidade e duração das chuvas, inclinação e forma das encostas e condições de fluxo hidrológico.

No Reino Unido, estudos desenvolvidos por ADDILSON (1987) no norte do país de Gales mostraram que com precipitações diárias de 171mm (sendo 118,4mm concentradas em 5 horas) eram suficientes para detonar corridas de massa envolvendo depósitos de talus / colúvio pouco profundos (2m de espessura média), em encostas com inclinação média em torno dos 28°.

Outras partes do mundo também têm desenvolvido pesquisas no tema Chuvas x escorregamentos, com foco em suas condicionantes fisiográficas locais. Como, por exemplo, JIBSON (1989 e 1991) em Porto Rico, BHANDARI *et al* (1991) no Himalaia e Sri Lanka, KIN *et al* (1991) na Coreia do Sul e PHIEN-WEJ *et al* (1993) na Tailândia. Entretanto, em particular na última década, é a Itália o país que provavelmente tem mostrado o maior empenho na determinação dos limiares pluviométricos críticos, uma vez que o país tem sido palco de recorrentes eventos de

chuvas intensas com deflagração de escorregamentos. Neste âmbito, destacam-se os trabalhos de GUZZETTI *et al* (2007) PICARELLI *et al* (2007). Neste sentido, cabem citar (1) o desenvolvimento de um site na Internet (http://rainfallthresholds.irpi.cnr.it/threshold_info.htm) desenvolvido pelo “Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica - IRPI”, que reúnem as mais significativas informações mundiais disponíveis na bibliografia relativas a limiares Pluviométricos que iniciam escorregamentos, e (2) o primeiro Italian Workshop on Landslides (Nápoles, junho, 2009), organizado por Picarelli L, Tommasi P, Urciuoli G e Versace P., que reuniu pesquisadores de todo o mundo para discutir, especificamente, os escorregamentos induzidos por chuvas (tendo sido apresentados 25 trabalhos técnicos que trataram de mecanismos, monitoramento, modelos, limiares pluviométricos e sistemas de alerta baseados em índices pluviométricos).

2.2.2 - Modelos Baseados em Processos Físicos e Modelos Empíricos

As metodologias desenvolvidas para os estudos de correlação chuva x escorregamentos, procuram, sempre, definir os Limiares Pluviométricos Críticos (*rainfall thresholds*), que são os níveis pluviométricos máximos ou mínimos necessários para que o processo ocorra ou para que se verifique uma “mudança de estado”. De acordo com GUZZETTI *et al.* (2007), o limiar pluviométrico mínimo define o menor volume de chuva abaixo do qual não ocorrem os movimentos de massa desencadeados pelas chuvas. O limiar pluviométrico máximo, por outro lado, representa o volume de chuva acima do qual sempre ocorrem movimentos de massa diretamente associados às chuvas. Os limiares pluviométricos podem ser determinados por bases físicas (modelos baseados em processos físicos, conceituais) ou empiricamente (com bases históricas e/ou estatísticas), cada qual com suas vantagens e desvantagens associadas.

As determinações de limiares baseadas em modelos de processos físicos, tentam incorporar, às já existentes modelagens para cálculo de estabilidade de taludes (por exemplo, modelo de talude infinito), os modelos de infiltração. Assim, em se medindo a pluviometria e se calculando as taxas de infiltração das águas das chuvas, é possível a previsão da ruptura (Fator de Segurança igual a 1). Estas determinações, entretanto, demandam uma grande gama de informações hidrológicas, litológicas, morfológicas, dentre outras, normalmente indisponíveis e de alto custo de obtenção,

bem como a necessidade de calibrações que utilizam eventos pluviométricos reais, ocorridos na área de interesse. Ainda segundo GUZZETTI *et al.* (op.cit.), as determinações de limiares pluviométricos baseados em métodos através de modelos de processos físicos têm mostrado bons resultados nas previsões de escorregamentos rasos (deslizamentos de solos e corridas de detritos) e pouca eficiência em escorregamentos profundos.

Dentro deste âmbito cabe a menção da análise promovida entre 1980 e 2000 por pesquisadores da Nova Zelândia, particularmente CROZIER e EYLES (1980), (1999), e GLADE *et al.* (2000). Estes autores tentaram estabelecer ligações entre a ocorrência de escorregamentos e as condições de umidade dos solos desenvolvendo um modelo conceitual simplificado que estima, diariamente, o status de água de solo antecedente (*Antecedent Soil Water Status – ASWS*) e inclui um fator de drenagem diretamente associado à precipitação ocorrida nos dias anteriores ao escorregamento. Este modelo foi calibrado com dados de chuvas e deslizamentos ocorridos no ano de 1974 e previu com sucesso a ocorrência de dias com e sem deslizamentos no ano de 1996 (WIECZORECK *et GLADE*, 2005).

2.2.2.1 - Modelos Empíricos

Na construção de modelos empíricos, a definição do termo intensidade pluviométrica é de grande importância. Para a maioria dos casos, este termo refere-se à altura de chuva na unidade de tempo, isto é, o quociente entre a altura e a duração, usualmente expressa em mm (ou polegadas) por hora ou em mm (ou polegadas) por minutos. Para valores muito prolongados (muitos dias a meses e anos), o termo passa a representar uma média do período. Alguns autores também utilizam o termo *acumulada pluviométrica* para indicar o somatório das chuvas em mais de um período (CASTRO, 2006). Nestes casos, são comuns as comparações das chuvas acumuladas em diferentes períodos (por exemplo de 2, 3, 4, 10, 20 e 30 dias). Cabe ressaltar que não existe um intervalo de tempo (minutos, horas, dias, etc.) ideal para caracterizar as condições pluviométricas em que são prováveis (ou não) as ocorrências de escorregamentos deflagrados por chuvas. Cada região analisada possui o seu intervalo de tempo ótimo. Numa revisão da literatura técnica WIECZOREK e GLADE (2005), encontraram pelo menos 25 diferentes períodos temporais em limiares pluviométricos críticos em modelos empíricos, concluindo que

“inconsistências de linguagem, desacordos nos períodos temporais utilizados e a variabilidade dos escorregamentos (tipologia, dimensões, etc.) tornam extremamente difícil a comparação entre os limiares pluviométricos. GUZZETTI et al. (op.cit) explicam que, para longos períodos de observação, a intensidade pluviométrica representa um valor “médio” que subestima a razão pluviométrico máxima (mm/tempo) ocorrida durante o período de observação e, portanto, intensidades pluviométricas medidas em períodos curtos e longos possuem significados físicos diferentes. Aqueles autores também acrescentam que valores de intensidades médias são mais usuais nos estudos de correlações entre chuvas e escorregamentos do que *picos* (máximas) de intensidades.

Os limiares pluviométricos estabelecidos por modelos empíricos geralmente utilizam para sua determinação, dados reais de eventos chuvosos com ocorrências de escorregamentos diretamente associadas. Nestes casos, os limiares correspondem à linha traçada imediatamente abaixo da “nuvem” de pontos que representam as condições pluviométricas (precipitação acumulada, intensidade pluviométrica, duração do evento, etc.) registradas em cada uma das ocorrências de escorregamentos. A linha pode ser traçada em gráficos com coordenadas cartesianas, semi-logarítmicas ou logarítmicas e lançar mão de métodos matemáticos (interpolações), atualmente facilitados pelas planilhas eletrônicas, ou ainda serem obtidas unicamente por métodos visuais (melhor ajuste). Quando existe disponibilidade de registros pluviométricos em eventos chuvosos em que não foram verificadas ocorrências de movimentos de massa, os registros máximos (acumuladas, intensidades, duração, etc.) também podem ser utilizados na análise. Estes registros são apresentados no mesmo gráfico de correlação de chuvas com ocorrência de escorregamentos e o limiar pluviométrico passa a ser considerado a linha que melhor separa as condições pluviométricas que resultaram ou não resultaram em movimento de massa (GUZZETTI *et al.*, 2007). Em algumas análises, os limiares são também utilizados como linhas de fronteira separando condições pluviométricas com ocorrências bem caracterizadas, como por exemplo ocorrências isoladas versus ocorrências múltiplas. Os trabalhos de ONODERA *et al.* (1974), LUMB (1975), TATIZANA *et al.* (1987a,b), JIBSON (1989), COROMINAS e MOYA (1999), BIAFIORE *et al.* (2002), MARCHI *et al.* (2002), ZEZERE e RODRIGUEZ (2002), PEDROZZI (2004) e GIANNECCHINI (2005) destacam-se como importantes contribuições para o desenvolvimento e uso prático nas análises com modelos empíricos. O estudo de COROMINAS e MOYA (op.cit) foi particularmente inovador, pois o levantamento dos escorregamentos considerou dados dendrogeomorfológicos (análise de cicatrizes de ruptura em troncos de árvores), o que

forneceu registros com acurácia de um ano. O limiar pluviométrico proposto ($AC = 32 \times D + 133$, onde “AC” é a chuva acumulada e “D” a duração do evento em semanas) considerou apenas os eventos pluviométricos com e sem ocorrências de escorregamentos porém necessariamente com precipitações acima de 40mm em 24horas (Figura 2.15)

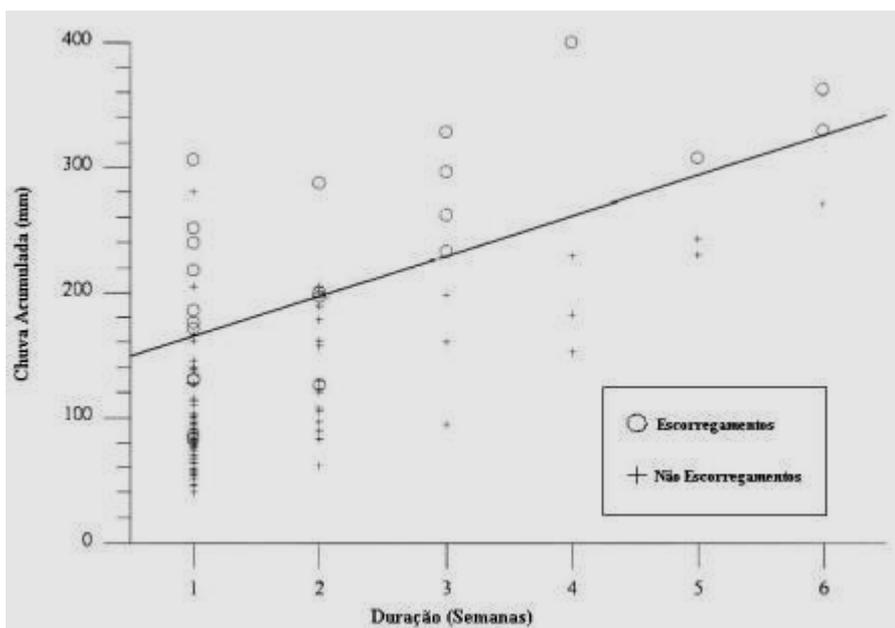


Figura 2.15 – Curva de Chuva Acumulada x Duração do Evento para Espanha (modificado de COROMINAS e MOYA, 1999, in CASTRO, 2006)

Através de modelos empíricos pesquisadores têm, nas últimas décadas, tentado estabelecer limiares pluviométricos em níveis globais, regionais e locais. No caso dos limiares globais, as intensidades pluviométricas investigadas seriam aquelas, abaixo das quais o agente deflagrador de um escorregamento não estaria associado diretamente às chuvas. Ou seja, independentemente dos aspectos fisiográficos (morfologia, litologia, clima, etc.) e do uso do solo, chuvas até aquele patamar pluviométrico não seriam capazes de desencadear escorregamentos. Estes limiares se mostram particularmente importantes onde limiares de abrangência regional ou local ainda não foram definidos. Contudo, sua utilização em sistemas de alerta de escorregamentos não tem mostrado boa aceitação em função de inúmeros resultados falso-positivos (predição de escorregamentos que não ocorreram), em diversas partes do mundo (GUZZETTI *et. al.*, 2007). Propostas de CAINE (1980), INNES (1983),

JIBSON (1989), CLARIZIA *et al.* (1996), CROSTA e FRATTINI (2001) e de CANNON et GARTNER (2005) (Tabela 2.6) constituem importantes marcos na tentativa de se estabelecer limiares globais.

Tabela 2.6 – Relação de pesquisadores e suas propostas de limiares pluviométricos globais: I = Intensidade, D = Duração, I_{PMA} = Intensidade normalizada pela Precipitação Média Anual (PMA) e E_{PMA} = Pluviometria Acumulada no Evento (total pluviométrico medido desde o início da chuva até o momento da ruptura).

Autor	Tipologia de Escorregamento	Equação	Alcance	Obs.
CAINE (1980)	Rasos, Corridas	$I = 14,82 \times D^{-0,39}$	$0,167 < D < 500$	
		$E = 14,82 \times D^{0,61}$	$0,167 < D < 500$	
INNES (1983)	Corridas	$E = 4,93 \times D^{0,504}$	$0,1 < D < 100$	
JIBSON (1989)	Corridas	$I = 30,53 \times D^{-0,57}$	$0,5 < D < 12$	Envelope inferior
		$I_{PMA} = 0,003 \times E_{PMA}^{-0,74}$	$0,03 < E_{PMA} < 0,4$	
CLARIZIA <i>et al.</i> (1996)	Deslizamentos de solo	$I = 10 \times D^{-0,77}$	$0,1 < D < 1000$	
PARONUZZI <i>et al.</i> (1998)	Corridas	$I_{PMA} = 0,02 \times D^{0,65}$		Envelope inferior
CROSTA e FRATTINI (2001)	Rasos	$I = 0,48 + 7,2 \times D^{-1,00}$	$0,1 < D < 1000$	
CANNON et GARTNER (2005)	Corridas	$I = 7,00 \times D^{0,60}$	$0,1 < D < 3$	Áreas queimadas

Limiares pluviométricos de abrangência regional ou local são, ao contrário daqueles com abrangência global, bastante freqüentes na literatura, entretanto,

difícilmente eles não podem ser exportados em áreas (vizinhas) onde os índices pluviométricos críticos ainda não foram definidos. O trabalho de (GUZZETTI et al., 2007) cita algumas dezenas de estudos para cada um dos tipos de limiares, sendo a maioria dos casos para regiões ou localidades situadas na Itália ou nos Estados Unidos da América. No caso dos limiares regionais, a abrangência pode variar de alguns poucos a muitos milhares de quilômetros quadrados, desde que a área de estudo apresente características fisiográficas e ocupacionais homogêneas. De um modo geral, quando bem definidos, os limiares pluviométricos regionais constituem bons parâmetros de monitoramento e decisão em sistemas de alerta de deslizamentos.

Limiares pluviométricos locais são definidos para áreas não maiores do que alguns poucos quilômetros quadrados e, usualmente, aplicados para o monitoramento de escorregamentos únicos ou de pequenos grupos de escorregamentos, capazes de ocorrer em áreas com regime climático local e configuração geológico-geomorfológica específica.

Ainda de acordo com GUZZETTI *et al* (op.cit.), os limiares pluviométricos empíricos podem ser divididos em (i) limiares que combinam medições de precipitações obtidas em eventos pluviométricos específicos; (ii) limiares que consideram as condições antecedentes e (iii) outros tipos de limiares. Os limiares definidos a partir de registros de eventos pluviométricos específicos, por sua vez, podem, ainda ser subdivididos em:

- Limiares tipo Intensidade - Duração (ID);
- Limiares tipo Evento – Duração (ED);
- Limiares tipo Evento-Intensidade (EI) e
- Limiares que consideram a pluviometria total do evento.

Limiares do tipo ID são os mais comumente achados na literatura mundial e normalmente são representados pela equação $I = c + \frac{D^{\alpha}}{\beta}$ onde I é a intensidade pluviométrica (média), D é a duração da precipitação, e $c \geq 0$, α e β são parâmetros. Na maioria dos casos, os estudos que consideraram longas durações propõem comportamento assintótico para a curva, que representa o limiar pluviométrico nos gráficos $I \times D$. Além disso, estes limiares somente são válidos para

intervalos restritos (determinados por limites máximos de intensidade pluviométrica e de tempo). Esta proposta, sugerida inicialmente por CANNON e ELLEN (1985), visa corrigir limitações conceituais deste modelo uma vez que, para períodos extremamente longos (> 500 horas), as intensidades de chuvas necessárias para desencadear os escorregamentos seriam tão pequenas que esta condição dificilmente poderia ser justificada.

Quando analisados conjuntamente, as diversas propostas de limiares pluviométricos tipo ID descritas na literatura revelam importantes particularidades. No trabalho de GUZZETTI (op.cit.) algumas destas particularidades são evidenciadas:

- Limiares de âmbito global são, na maioria dos casos, posicionados na região inferior do conjunto de limiares tipo ID;
- Limiares pluviométricos locais tendem a ser mais altos do que limiares regionais que, por sua vez, tendem a ser mais altos do que limiares globais;
- Limiares pluviométricos locais tendem a ser definidos para intervalos de tempo (Duração) mais limitados quando comparados aos limiares regionais e globais e
- Uma mesma região pode apresentar diferentes propostas de limiares pluviométricos em função da variabilidade das condições pluviométricas analisadas, das diferenças geológicas, fisiográficas e geomorfológicas das áreas e, mais importante, da freqüente ocorrência de falta de dados (registros incompletos) no que se refere à pluviometria e à caracterização dos escorregamentos.

Quando, numa determinada região, as informações básicas (horário, localização, tipologia, etc.) dos escorregamentos ou os registros pluviométricos são inexistentes ou insuficientes, é comum tentar-se utilizar limiares pluviométricos de regiões vizinhas ou de características similares. Entretanto, a simples adoção do limiar de outra área tem mostrado problemas que, de acordo com JAKOB e WEATHERLY (2003) estão, em grande parte, relacionados às diferenças litológicas e morfológicas e às variações climáticas e meteorológicas que normalmente não são consideradas na determinação dos limiares pluviométricos do tipo ID.

Para viabilizar as comparações entre limiares de diferentes regiões, diversos autores têm utilizado metodologias de normalização dos valores de intensidade pluviométrica, lançando mão de valores empíricos do clima local. Dentre

as metodologias mais comuns para estas normalizações, está aquela na qual a intensidade pluviométrica é dividida pela precipitação anual média (PAM). Este expediente foi utilizado nos trabalhos de CANNON, 1988; JIBSON, 1989; CERIANI *et al.*, 1992; PARONUZZI *et al.*, 1998; WIECZOREK *et al.*, 2000; ALEOTTI *et al.*, 2002 e de BACCHINI and ZANNONI, 2003. Outros investigadores, como por exemplo WILSON (1997) e WILSON e JAYKO (1997) utilizaram as normais dos números de chuvas, que é tido como um índice climático mais acurado do que a PAM para os estudos de chuvas extremas capazes de deflagrar escorregamentos. Ainda neste âmbito ressalta-se o estudo de BARBERO *et al.* (2004), que desenvolveu uma metodologia para definir o limiar pluviométrico local (tipo ID) de uma localidade situada em Piedmont (norte da Itália), a partir de outro limiar já existente de outra localidade também na região de Piedmont. Para tanto, BARBERO *et al.* (op. cit.) uma constante (N) obtida pela razão entre os PAM das duas localidades. Outros estudiosos que propuseram limiares pluviométricos tipo ID normalizados são listados em GUZZETTI *et al.* (2007).

Dentre os estudos mais recentes que apresentam propostas de limiares do tipo ID, certamente se destaca o trabalho de GUZZETTI *et al.* (op. cit.), desenvolvido para a região Central e Sul da Europa (Central European Adriatic Danubian South-Eastern Space - CADSES). Após a análise de 853 eventos de chuva com ocorrência de escorregamentos, e a utilização de métodos estatísticos para a diminuição do erro (aproximação Bayesiana), aqueles autores chegaram a interessantes conclusões:

- Chuvas com altas intensidades e curtas durações (normalmente associadas a sistemas convectivos) tendem a deflagrar escorregamentos rasos e corridas, enquanto que chuvas de intensidade moderada e longa duração tendem a deflagrar escorregamentos profundos (conclusão similar a que DELMONACO *et al.*, em 1995, já haviam chegado ao estudar a Região de Piedemont no norte da Itália) ;
- Para eventos com duração de até 200 horas, os limiares ID propostos apresentam bons resultados; contudo nos eventos mais longos, a pluviometria antecedente tem forte influência e as rupturas parecem estar mais associadas a processos não considerados nos modelos ID simples, tais como a recarga de água subterrânea e as rupturas progressivas;
- Ainda segundo GUZZETTI *et al.* (op.cit), a climatologia regional influi na determinação dos limiares. Ao comparem limiares pluviométricos obtidos para

regiões (principalmente europeias) com subdivisões climáticas diferenciadas, aqueles autores observaram que o nível mínimo de intensidade pluviométrica necessária para gerar escorregamentos é diferente. Assim, as curvas dos limiares críticos definidos para regiões com climas amenos de latitudes médias tendem a ser mais inclinadas do que as curvas obtidas para limiares críticos de regiões montanhosas e de climas mais frios. Eles também concluíram que para uma mesma pluviometria de curta duração (menor do que 30 horas), a intensidade pluviométrica média necessária para deflagrar escorregamentos nas regiões montanhosas e de clima mais frio é mais baixa do que a intensidade pluviométrica média necessária nas regiões de clima mais ameno na latitudes médias. E finalmente que em regiões de clima ameno a duração das chuvas teria uma importância maior do que a intensidade necessária para deflagrar os escorregamentos, enquanto que nas áreas de montanhas (e de climas mais frios) a intensidade pluviométrica teria uma maior relevância do que a duração das chuvas; Limiares do tipo ID e do tipo ID normalizados não mostraram grandes variações, exceto para casos de eventos de longa duração, quando os modelos normalizados tendem a apresentar melhores resultados e a considerar a pluviometria antecedente.

Embora menos freqüentemente encontrados na literatura, existem estudos de correlação entre chuvas e escorregamentos em que os limiares propostos se basearam especialmente em volumes de chuva precipitados durante um evento capaz de deflagrar escorregamentos. Assim, estabelecimentos de limiares têm sido obtidos a partir de entrecruzamentos com diversas variáveis de pluviométricas, tais como pluviometria diária, pluviometria antecedente, pluviometria acumulada no evento (E) e pluviometria normalizada acumulada no evento (normalmente expressa como uma percentagem de PAM). Neste último tipo, destaca-se o trabalho de GUIDICINI e IWASA (1976), que devido a sua abrangência em termos nacionais e divulgação internacional, pode ser incluído no rol de trabalhos com grande relevância mundial na correlação entre chuvas e escorregamentos. Estes autores utilizaram registros pluviométricos e ocorrências de escorregamentos de diferentes regiões do Brasil (e que será melhor detalhado no item 2.3.3 Exemplos de Correlações em Território Nacional), estudo este onde os autores concluíram que, quando a pluviometria total do evento excede a 12% do PAM, escorregamentos ocorrem independentemente das condições pluviométricas antecedentes ao evento, porém se a pluviometria total do evento corresponder entre 8 e 12% da PAM, escorregamentos ocorrem dependendo do histórico pluviométrico e se a pluviometria total do evento for inferior a 8% da PAM,

não é provável a deflagração de escorregamentos. De modo similar, GOVI e SORZANA (1980), estudando a região de Piedmont no noroeste da Itália, estabeleceram relações entre a proporção da PAM que precipitou no evento e a abundância de escorregamentos deflagrados e constataram que, regiões com PAM altas necessitam, para a deflagração de escorregamentos, de maiores acumuladas pluviométricas por evento do que regiões com PAM mais baixas. Ainda em relação a limiares pluviométricos definidos a partir de pluviometria normalizada acumulada no evento, GUZZETTI *et al.* (2007) citam os trabalhos de BHANDARI *et al.* (1991), na região leste do Himalaia, e o de BIAFIORE *et al.* (2002) a provincial de KwaZulu-Natal no nordeste da África do Sul.

Propostas de limiares pluviométricos (globais, regionais e locais) também já foram efetuadas, tendo sido baseadas em correlações entre a duração e a pluviometria acumulada do evento (E-D). Neste escopo, destacam-se os trabalhos de CAINE (1980) e INNES (1983) para limiares Globais; WILSON *et al.* (1992), em Honolulu (Havaí); SANDERSEN *et al.* (1996), na Noruega; COROMINAS e MOYA (1999) no leste dos Pirineus (Espanha); ANNUNZIATI *et al.* (2000) e GIANNECCHINI (2005), na Toscana (Itália); ZEREZE e RODRIGUES (2002) no norte de Lisboa (Portugal); ALEOTTI (2004) no região de Piedmont (Italia). No Brasil, KANJI *et al.* (2003) realizaram estudos na região sudeste e definiram limiares E-D para corridas deflagradas em encostas naturais e taludes de aterros. Cabe, entretanto, relatar que diferenças climáticas existentes nas regiões consideradas, embora não modifiquem significativamente as curvas de tendências dos limiares pluviométricos (direção, ascendência, gradiente), são capazes de introduzir importantes diferenças na quantidade mínima necessária para a deflagração de escorregamentos (GUZZETTI *et al.*, Op.cit). Por fim cabe citar propostas de correlação utilizando a pluviometria total acumulada no evento com valores de intensidade pluviométrica média, onde se sobressaem os trabalhos de ONODERA *et. al* (1974), que utilizou parâmetros de intensidade pluviométrica horária registradas no Japão, o estudo de GOVI e SORZANA (1980) que considerou apenas a média da pluviometria acumulada durante a fase final do evento (período de ocorrência dos escorregamentos) na região noroeste da Itália.

Uma importante linha de pesquisa nos estudo de correlação entre chuvas e escorregamentos utiliza a pluviometria antecedente (Ad) como principal elemento para o estabelecimento de limiares pluviométricos. Estes estudos levam em consideração o fato de que a pluviometria antecedente tem influência direta nos níveis

d'água subterrâneos e no teor de umidade dos solos, parâmetros estes que podem ser utilizados como indicadores da probabilidade de ocorrência de escorregamentos. A definição do período de antecedência a ser considerado parece ser a principal dificuldade nestes estudos, de tal modo que a literatura apresenta propostas de limiares considerando uma antecedência mínima de 1 dia (DE VITA, 2000, PASUTO e SILVANO, 1989) até o máximo de 120 dias (PASUTO e SILVANO, op. cit.). Esta grande variabilidade está, assim como nos demais estudos de correlação entre chuvas e escorregamentos, associada às diversidades de condições fisiográficas (litologia, morfologia, vegetação, clima, etc.) de cada região estudada e à heterogeneidade/irregularidade dos registros pluviométricos e das ocorrências de escorregamentos pesquisados nos estudos. Não obstante tal variabilidade, as propostas de limiares pluviométricos baseados em pluviometria antecedente podem ser basicamente divididas em casos simples e em casos complexos. Nos casos simples, os valores fixos de pluviometria são estabelecidos para períodos fixos, por exemplo, 300mm em 60 dias estabelecidos por GOVI *et al.* (op.cit) para região de Piedmont na Itália, ou 590mm e 700mm para períodos de 3 e 4 meses, respectivamente, na região central da Itália, valores estes definidos por CARDINALI *et al.* (2005). Nos casos complexos, correlacionam-se os valores de chuva antecedente com acumuladas pluviométricas em diferentes períodos / eventos (1 dia, 2 dias, etc.), de modo a se identificar as envoltórias que melhor se ajustam às “nuvens” de ocorrências de escorregamentos. Assim, por exemplo, PASUTO e SILVANO (1989) analisaram pluviometria eventos de 2 dias e correlacionaram estes dados com a pluviometria antecedente de diferentes períodos, chegando à conclusão que, na região da bacia do Rio Cordevole (NE da Itália) quando a chuva antecedente de 15 dias excedia 200mm, a pluviometria acumulada em eventos de 2 dias era determinante na ocorrência de escorregamentos: acima de 200mm escorregamentos sempre ocorriam; entre 100 e 150mm, escorregamentos ocorriam em 57% das vezes e abaixo de 70mm, escorregamentos raramente ocorriam. Outro interessante trabalho que considerou a pluviometria antecedente refere-se ao estudo de DE VITA (2000) (in GUZZETTI, *et al.* 2007), que, analisando períodos antecedentes entre 1 e 60 dias, verificou que, no sul da Itália, as precipitações diárias necessárias para deflagrar escorregamentos estavam diretamente associadas às precipitações antecedentes entre 1 e 19 dias anteriores ao evento, de tal modo que quanto maiores as precipitações antecedentes, menores deveriam ser as precipitações diárias, até um limite mínimo de 50mm. Outras propostas de limiares baseados em pluviometria antecedente com certa relevância na literatura correspondem aos trabalhos de CHLEBORAD (2003), na área

de Seattle (EUA), HEYERDAHL *et al.* (2003), em El Salvador e Nicarágua, ALEOTTI (2004), na região de Pídemont na Itália e GABET *et al.* (2004) nos Himalayas. Vários investigadores científicos não crêem na importância da pluviometria antecedente como agente prioritário na deflagração de escorregamentos. ALEOTTI (2004) não conseguiu achar correlações entre pluviometrias críticas e pluviometria acumulada com as ocorrências de escorregamentos no noroeste da Itália. Do mesmo modo, BRAND *et al.* (1984), BRAND (1992) e AU (1998), também não encontraram correlações significativas entre a pluviometria antecedente e a deflagração dos escorregamentos nas encostas de Hong Kong, o que foi explicado em função das altíssimas intensidades pluviométricas (e curta duração) que ocorrem com maior frequência nas regiões tropicais. COROMINAS e MOYA (1999) e COROMINAS (2000) estudando escorregamentos na região dos Pirineus, observaram que a presença de vazios e de grandes macroporos nos solos eram os aspectos determinantes na deflagração daqueles movimentos e não detectaram influência de pluviometria antecedente nas ocorrências analisadas. Aparentemente, esclarecedora contribuição sobre a importância da pluviometria antecedente na deflagração de escorregamentos foi apresentada por BONUCCELLI (1999) que, após estudar escorregamentos deflagrados por chuvas intensas na região de Ouro Preto (Minas Gerais, Brasil), restringiu aquela importância à presença preponderante de solos com baixa permeabilidade na região de estudo.

Agora sim, cabe a menção de limiares pluviométricos cujas propostas consideraram parâmetros especiais e pouco usuais neste tipo de análise. Trata-se por exemplo do trabalho desenvolvido por AYALEW (1999), que estudou rupturas na Etiópia e inseriu em análise a influência das medidas de evapotranspiração. WILSON (2000), estudando corridas de detritos em diversos locais dos Estados Unidos, propôs limiares pluviométricos com base em períodos de recorrência de 5 anos. JAKOB e WEATHERLY (2003) estabeleceram limiares pluviométricos para deflagração de corridas e de escorregamentos rasos combinando registros relacionados à pluviometria acumulada em 4 semanas anteriores a tempestade com a intensidade máxima em 6 horas durante o evento. Neste estudo os autores também consideraram o número de horas em que se verificava registros hidrológicos superiores a $1\text{m}^3/\text{s}$ em determinadas estações de monitoramento em uma região montanhosa próxima na província de British Columbia (Canadá).

2.2.3 - Exemplos de Correlações em Território Nacional

O estudo de PICHLER (1957) encontra-se certamente dentre os pioneiros da literatura técnica nacional que trata de correlações entre chuvas e escorregamentos. Estudando os acidentes geológicos ocorridos nos morros de Santos (SP) e São Vicente (SP), em março de 1956, aquele autor analisou escorregamentos que ocasionaram dezenas de vítimas fatais e que foram deflagrados por chuvas classificadas de muito fortes (acima de 50 mm/h) cuja duração total foi de aproximadamente de 8 horas. Em BARATA (1969), NUNES (1969) e VARGAS (1971) os tema “correlação entre chuvas e escorregamentos” também é abordado, tomando como base, principalmente, ocorrências de escorregamentos em regiões do Estado do Rio de Janeiro nos anos de 1966 e 1967, sendo que o trabalho de Nunes deu maior ênfase aos acidentes originados em encostas com predomínio de solos residuais de gnaiss e de granitos e o de Vargas lançou foco sobre ocorrências em taludes rodoviários.

O estudo de GUIDICINI & IWASA (1976) também apresenta papel de destaque dentre as primeiras investigações sobre chuvas e deflagração de escorregamentos no Brasil. Aqueles autores utilizaram registros de deslizamentos das regiões sul, sudeste e nordeste do País, fato que, se por um lado trouxe ineditismo na abrangência (quase nacional), por outro apresenta deficiência devido à falta de consideração dos aspectos fisiográficos de cada região (em particular a climatologia e a geologia) que podem variar e influir significativamente nos resultados. GUIDICINI E IWASA (op. cit.) avaliaram a importância das chuvas antecedentes para 3, 7, 15, 30, 60, 90 e 120 dias, e realizaram análises probabilísticas das repetições dos eventos. Os autores consideraram, principalmente, a periodicidade das chuvas, a intensidade pluviométrica (antes e durante o evento) e a duração das chuvas. Além disso, estabeleceram coeficientes pluviométricos cujos valores indicariam diferentes “níveis de periculosidade” relativos a ocorrência de escorregamentos. Os coeficientes foram definidos do seguinte modo:

Cc: Coeficiente de ciclo ou histórico da pluviosidade (razão entre o registro acumulado até a data do evento e a média anual da pluviosidade).

Ce: Coeficiente de episódio (razão entre o registro pluviométrico do episódio e a média anual da pluviosidade).

Cf: Coeficiente final (= Cc + Ce).

Baseados no valor de Cf, Guidicini e Iwasa propuseram 4 níveis de risco – A, B, C e D, relativos às probabilidades de ocorrência de escorregamentos de 100, 85, 33 e 0%, respectivamente. Do mesmo modo, utilizando-se valores de Cf, os autores estabeleceram 4 zonas de influência das chuvas antecedentes – A, B, C e D, correspondentes às probabilidades de 100, 67, 31 e 0%. Assim sendo, os autores acreditavam que as chuvas antecedentes tinham importante influência na elevação do risco potencial de escorregamentos, em especial até os 30 dias antes do evento. No caso do Estado do Rio de Janeiro, em especial, os autores verificaram que os eventos catastróficos de janeiro de 1966 e de fevereiro de 1967 foram induzidos com a ocorrência de Cf iguais a 1,0 e 1,3, respectivamente e que a maioria dos episódios de chuvas com ocorrências de escorregamentos se deu com o atingimento de, pelo menos, 11% da Pluviosidade Anual Média - PAM (cujo valor adotado no trabalho foi de aproximadamente 1067mm). A Figura 2.16 apresenta a Carta de Periculosidade para a Cidade do Rio de Janeiro, correlacionando as zonas de risco (100, 67, 31 e 0%) e a pluviosidade. As demais Cartas de Periculosidade apresentadas no estudo em questão foram das áreas de Caraguatatuba (SP), Baixa Santista (SP), Rodovia dos Imigrantes (SP), Via Anchieta (SP), Serra de Maranguape (CE), Serra das Araras (RJ), Sul de Minas (MG) e Vale do Tubarão (SC) As conclusões a que chegaram Guidicini e Iwasa em seu estudo podem ser assim resumidas:

- As chuvas antecedentes entre as 24 e 72 horas influem fortemente na probabilidade de ocorrência dos escorregamentos (quanto maiores as intensidades, maior o nível de periculosidade);
- Ocorrências de registros pluviométricos superiores a 12% do PAM (no caso da Cidade do Rio de Janeiro, superiores a 128 mm) em períodos com duração entre 24 e 72 horas anteriores, tendem a deflagrar escorregamentos, independentemente das condições pluviométricas antecedentes ao evento;
- Ocorrências de registros pluviométricos entre 8% e 12% do PAM (no caso da Cidade do Rio de Janeiro, entre 85mm e 128mm) em períodos com duração entre 24 e 72 horas anteriores, somente deflagram escorregamentos se as chuvas antecedentes e as características físicas dos solos, em conjunto, possibilitaram a manutenção de um alto grau de saturação dos solos;

- Ocorrências de registros pluviométricos inferiores a 8% do PAM (menores que 85mm, na Cidade do Rio de Janeiro), em períodos com duração entre 24 e 72 horas, dificilmente ocasionam escorregamentos.

Se forem considerados os registros pluviométricos das 32 estações pluviométricas do Sistema Alerta Rio obtidos entre 1997 e 2008 (GEORIO, 2009), que indica um PAM para a Cidade do Rio de Janeiro de aproximadamente 1252mm, então os 8% do PAM passam a ser 100mm e os 12% do PAM passam a ser 150mm. Por seu turno, os registros da Estação Pluviométrica do INMET no Parque Nacional da Serra dos Órgãos que está instalada a poucos quilômetros da área de interesse da tese e que apresenta um PAM de aproximadamente 2813 mm, irá resultar em valores de 225mm para 8% do PAM e de 338mm para 12% do PAM, aproximadamente.

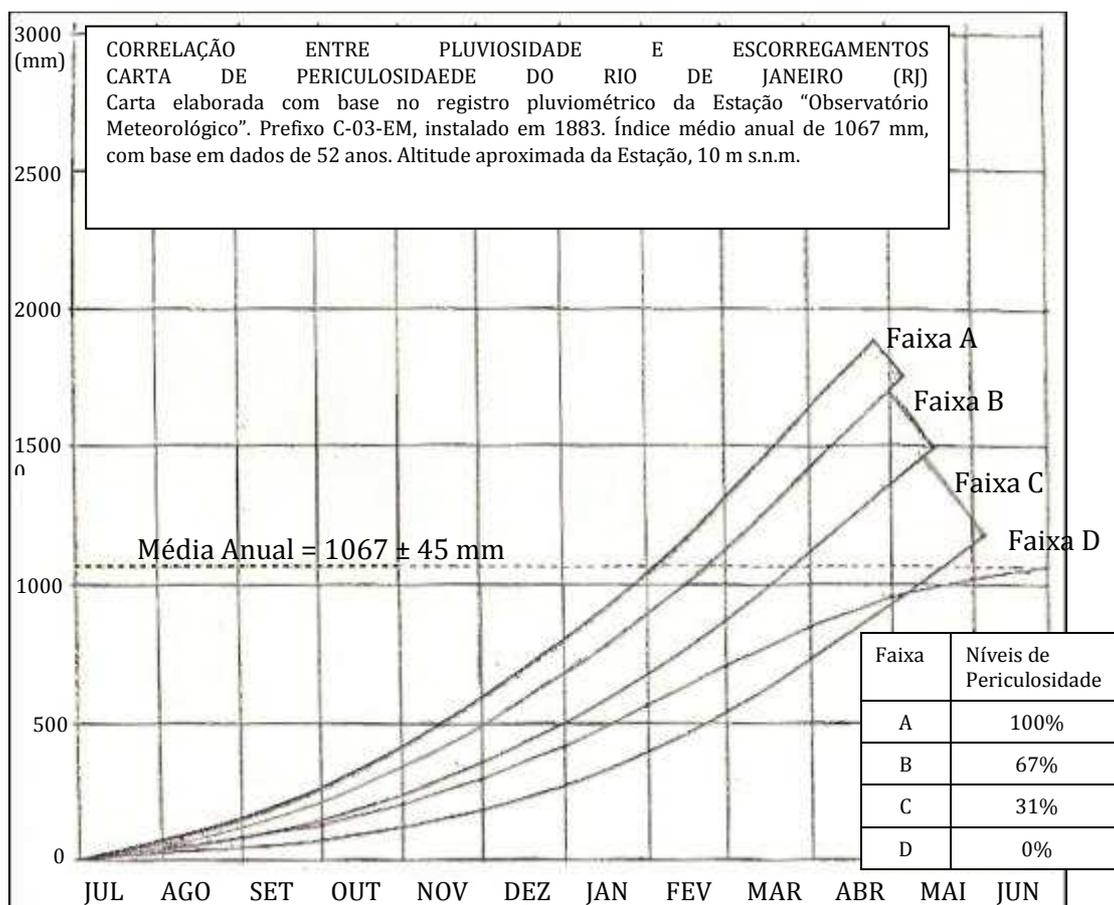


Figura 2.16 – Carta de periculosidade da Cidade do Rio de Janeiro baseada na correlação entre pluviosidade e escorregamentos (GUIDICINI e IWASA, 1976)

Após ter analisado 25 acidentes significativos ocorridos na década de 1970 em taludes ao longo da Rodovia, objeto da presente tese, e de ter verificado a pluviometria para cada ocorrência, NUNES (1979) concluiu que havia uma íntima relação entre a pluviometria acumulada no ano (período de 12 meses anteriores) em análise (A_{ca}), a pluviometria acumulada anual média (A_{cam}) e a pluviometria acumulada no evento (A_{ce}). Quando (A_{ca} / A_{cam}) é menor do que 1, o ano em análise é considerado úmido e quando (A_{ca} / A_{cam}) é maior do que 1, o ano é considerado seco. Para NUNES (1979), no anos úmidos o limiar pluviométrico é atingido sempre que $A_{ce / 48h} \geq 8\% A_{ca}$ e, nos anos secos, sempre que $A_{ce / 48h} \geq 12\% A_{ca}$. Tomando como base os registros da Estação Pluviométrica do INMET no Parque Nacional da Serra dos Órgãos (INMET, 2008), proposta de NUNES (op.cit.) teria os seguintes valores de limiares pluviométricos: anos secos, 338 mm/48h e anos úmidos, 225 mm/48h. NUNES (1982), também com ênfase em taludes rodoviários, propõe a adoção de 40mm/h como intensidade deflagradora de escorregamentos e, conseqüentemente, parâmetro para fechamento temporário de estradas de rodagem nos seus trechos montanhosos (“trechos de serras”). Já NUNES et. al. (1983), com base em observações de campo, sugere as intensidades de 50 mm/h e de 10 mm/15min como deflagradores de escorregamentos. Trata-se de índices absolutos, que independeriam de chuvas antecedentes para a detonação de escorregamentos.

Em VARGAS JR et al (1986), a intensidade pluviométrica de 50mm/h é novamente indicada como precipitação crítica a partir do qual é muito alta a probabilidade de desencadeamento de deslizamentos, em particular em taludes de solo residuais ao longo de estradas de rodagem. Segundo aqueles autores, precipitações pluviométricas de 50mm em uma hora seriam suficientes para que a infiltração das águas de chuvas (e o conseqüente aprofundamento da frente de saturação) deflagrasse processos de instabilização nos taludes rodoviários, sendo, portanto, indicado o fechamento da estrada sempre que aquele índice pluviométrico fosse atingido.

A proposta de TATIZANA *et al* (1987a,b) introduziu algumas novidades no rol de estudos sobre correlação entre chuvas e escorregamentos no Brasil. O estudo verificou a influência direta de pelo menos 6 fatores na deflagração dos escorregamentos (geologia, geomorfologia, declividade, cobertura vegetal, regime pluviométrico e posição da encosta), mas também identificou a grande dificuldade de considerá-los isoladamente no estudo. Assim, eles optaram por analisar o comportamento das ocorrências por setores na Serra do Mar. Foram analisados

eventos de chuvas com e sem registros de escorregamentos e acumuladas de chuvas até o baixo limite de 10mm, tendo a área de estudo se restringido às escarpas da Serra do Mara na região de Cubatão (SP). Através de suas análises, aqueles autores conseguiram definir limiares pluviométricos empíricos do tipo E-I (pluviometria acumulada em 96 horas x intensidade pluviométrica em 1 hora) e determinaram parâmetros (“K”) específicos para cada modelo de ruptura. A expressão matemática representativa do modelo proposto por TATIZANA et al (op.cit.) é: $I(AC) = K \times (AC4d)^{0,933}$, onde I (AC) é a intensidade pluviométrica da última hora antes da ocorrência do escorregamento, (AC4d) corresponde a pluviometria acumulada nos quatro dias (96horas) antes da ocorrência e K o parâmetro associado ao modelo e ruptura. Os valores de K para quatro modelos de ruptura (escorregamentos induzidos, escorregamentos esparsos, escorregamentos generalizados e corridas de lama) são apresentados na Tabela 2.7. Cabe salientar que apenas a envoltória do modelo para escorregamentos induzidos (Figura 2.17) foi efetivamente estabelecida (linha limítrofe entre a “nuvem” de pontos correspondentes aos eventos de chuva com e sem ocorrências de escorregamentos), tendo as envoltórias para os demais modelos de ruptura simplesmente seguido a mesma forma da curva para escorregamentos induzidos. Os autores utilizaram deste expediente devido à limitação dos dados e, portanto, alertam, em seu estudo, quanto a baixa confiabilidade relativa àqueles modelos de ruptura.

Tabela 2.7 – Valores do parâmetro “K”, na expressão $I(AC) = K \times (AC4d)^{0,933}$ na proposta de TATIZANA et al (1987a) para limiares pluviométricos na Serra de Cubatão (SP).

Parâmetro “K”	Modelo de Ruptura
2.603	Escorregamentos induzidos
3.579	Escorregamentos esparsos
5.466	Escorregamentos generalizados
10.646	Corridas de Lama

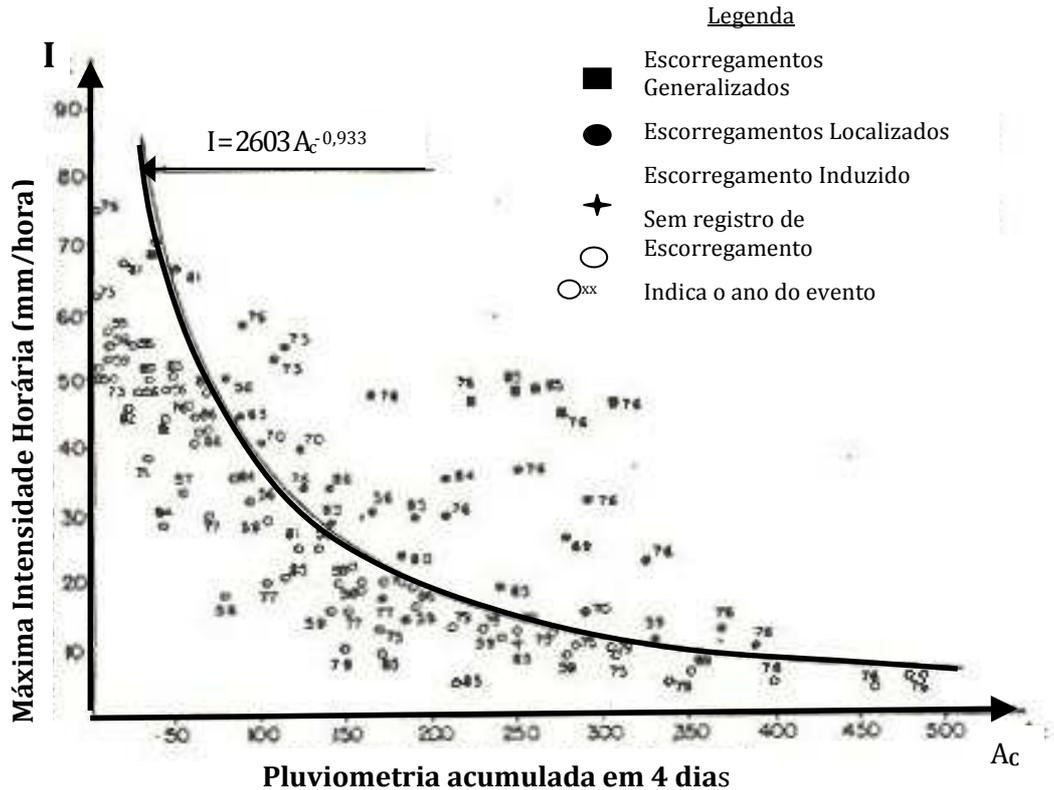


Figura 2.17 – Envoltória de escoamentos induzidos segundo TATIZANA *et al.* (1987a), para Serra de Cubatão (SP). Os índices pluviométricos foram calculados a partir de registros do Posto Pluviométrico Curva da Onça (E3-153 R) Setor refinaria (Petrobras)

ELBACHÁ *et al* (1992) tentaram estabelecer correlações entre chuvas e deslizamentos na Bacia do Camarajipe (Salvador – BA), com base em registros de acidentes em encostas e índices pluviométricos no período de 1980 a 1990. Aqueles autores concluíram que, embora o cadastro dos escoamentos ficasse muito aquém do ideal, foi possível verificar que quatro dias corresponde ao melhor intervalo para caracterizar a influência das chuvas sobre a deflagração dos escoamentos, sendo o valor de 120mm/96h aquele a partir do qual se verificam a maioria das ocorrências. Traçando uma curva de separação entre eventos com e sem registros de escoamentos, ELBACHÁ *et al* (op. cit) definiu uma envoltória de escoamento baseado nas intensidades horárias contra as acumuladas em 96h. (Figura 2.18)

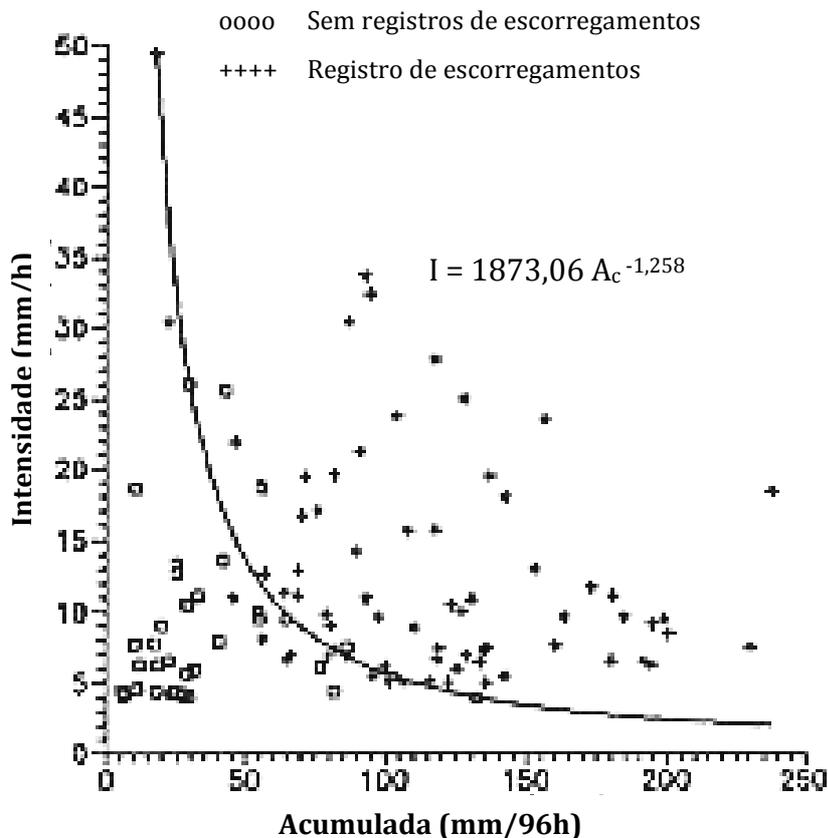


Figura 2.18 – Envoltória de escorregamentos ($I = 1873,06 \times AC^{-1,258}$) para a Bacia do Camarajipe (Salvador –BA) segundo ELBACHÁ *et al* (1992).

Estudando ocorrências de escorregamentos deflagrados no Município de Petrópolis (RJ), ALMEIDA *et al* (1993) lograram estabelecer limiares pluviométricos para emissão de alertas para 3 condições distintas de risco (“Estados “1”, “2” e “3”), relativas ao número esperado de escorregamentos por evento de chuva. O estudo teve com base registros pluviométricos de duas localidades no Município de Petrópolis (Posto Itamarati e Posto de Petrópolis) e a análise de 1131 ocorrências de escorregamentos entre os anos 1940 e 1980. Cabe ressaltar que o estudo mostrou um progressivo aumento da vulnerabilidade do Município em relação às chuvas, de modo que a intensidade pluviométrica necessária para deflagrar escorregamentos diminuiu com o passar das décadas. Através de análise probabilística, os autores concluíram que dentre os períodos (1 a 5 dias) de acumulada de chuva confrontados para melhor estabelecer a correlação, o melhor resultado foi obtido com a acumulada de 4 dias. A proposta de ALMEIDA *et al* (op.cit) para a mudança das condições de risco e emissão de alerta, pode ser resumida na Tabela 2.8.

Tabela 2.8 – Critérios para mudança das condições de risco e emissão de alerta propostos por ALMEIDA *et al* (1993) para o Município de Petrópolis (RJ) com base em acumuladas pluviométricas nos Postos Pluviométrico de Petrópolis e Itamarati.

Condição de Risco	Acumulada pluviométrica em 4 dias (apenas para acumuladas > 30mm)	Conseqüências	Número de escorregamentos esperados
Estado 1	≥ 40mm no Posto de Petrópolis	Escorregamentos isolados a esparsos em regiões mais susceptíveis a escorregamentos	1 a 5
	≥ 30mm no Posto de Itamarati		
Estado 2	≥ 90mm no Posto de Petrópolis	Estado preparatório para eventos de maior porte	6 a 30
	≥ 60mm no Posto de Itamarati		
Estado 3	≥ 150mm no Posto de Petrópolis	Risco de eventos de maior porte, com possibilidade de eventos catastróficos	Acima de 30
	≥ 130mm no Posto de Itamarati		

Estudos realizados por CERRI (1993) trouxeram novos avanços para a questão do gerenciamento do risco associado a escorregamentos deflagrados por chuvas intensas na região do litoral norte do Estado de São Paulo, Baixada Santista e Cubatão. Baseando-se nas propostas de GUIDICINI e IWASA (1976) e de TATIZANA *et al* (1987a,b) o autor introduz um Coeficiente de Precipitação Crítica (CPC), adimensional, obtido através da relação entre a Intensidade horária (i) e a Intensidade horária crítica (I_{ci}), obtida a partir da envoltória para escorregamentos induzidos proposta por TATIZANA *et al* (1987a,b). A determinação de CPC e as condições de risco associadas são apresentadas na Tabela 2.9.

Tabela 2.9 - Coeficiente de Precipitação Crítica (CPC) segundo proposta de CERRI (1993), para as regiões de Cubatão (SP), Baixada Santista e Litoral norte do Estado de São Paulo.

Determinação	Valores	Ocorrências associadas
CPC = $\frac{i}{ci}$ i = intensidade horária (mm/h), registrada na hora "i" ci = intensidade horária crítica (mm/h) para escoamentos induzidos obtida através da proposta de TATIZANA <i>et al</i> (1987a,b) ($I(AC) = K \times (AC4d)^{-0,933}$)	CPC = 1,0	Escoamentos induzidos
	CPC = 1,4	Escoamentos esparsos
	CPC = 2,1	Escoamentos generalizados
	CPC = 4,1	Escoamentos do tipo corrida de lama

Cabe observar que, diferentemente da proposta de TATIZANA *et al* (1987a,b), que adota o intervalo de 4 dias para os valores de chuva acumulada (AC), CERRI (1993) utiliza intervalos de 84 horas. Cerri também introduziu o Coeficiente de Ciclo Móvel (CCM), com base no Coeficiente de Ciclo (Cc) proposto por GUIDICINI e IWASA (1976). A diferença entre os citados coeficientes estaria basicamente nos períodos adotados para cálculo daqueles índices. O CCM é obtido pela relação entre o acumulado de chuva entre o dia primeiro de junho (do ano em análise) até o dia analisado e o acumulado normal de chuva no mesmo período. Já o Cc é determinado pela razão entre o registro acumulado até a data do evento e a média anual da pluviosidade da região. Com base nos parâmetros CPC e CCM, Cerri elaborou Planos Preventivos de Defesa Civil, com critérios técnicos para a mudança de quatro níveis de risco (Observação, risco baixo a inexistente; Atenção, risco moderado; Alerta, risco alto e Alerta Máximo, risco muito alto) e o estabelecimento de que valores CCM iguais ou superiores a 1,2 implicam em alta probabilidade de ocorrência de escoamentos, que serão tão mais numerosos quanto maior aquele Coeficiente.

PEDROSA (1994) adicionou importante contribuição ao tema quando reuniu e analisou os registros de chuvas e de escoamentos no Estado do Rio de Janeiro. Tendo como base o Sistema de Alerta de Hong Kong, comparações entre a pluviometria entre a Cidade do Rio de Janeiro e de Hong Kong e a proposta de

GUIDICINI e IWASA (1976) em relação ao percentual da pluviometria média anual (PMA) atingida nos eventos, PEDROSA (op. cit.) apresenta uma proposta operacional de monitoramento pluviométrico para instalação de um Sistema de Alerta para a Cidade do Rio de Janeiro, com limiares pluviométricos associados a chuvas horárias, de 24, 72 e 96 horas (Tabela 2.10).

Tabela 2.10 – Proposta de chuvas críticas para operação de um Sistema de Alerta (Pedrosa, 1994).

A) Chuva crítica de 24 - horas com o acompanhamento da chuva acumulada de 15 - dias			
Classificação por tipo de evento de deslizamento	Chuva crítica do dia (mm)	Chuva acumulada (mm)	
- deslizamento/dia < 10	20 - 50	Ac15d > 70	Ac15d = chuva acumulada em 15-dias anteriores a hora de ruptura
- 10 < deslizamento/dia < 50	50 - 100	-	
	> 50	Ac15d > 250	
- deslizamento/dia > 50	100 - 200	-	
	> 100	Ac15d > 350	
	> 200	-	
B) Chuva crítica de 24 a 72 horas com o acompanhamento da pluviosidade média			
Classificação por número de deslizamentos/dia	Chuva crítica do evento (mm)	EVENTO = 3 dias antecedentes e 3-dias de episódio PMA = pluviosidade média anual em Hong Kong é 2.224,7 mm (a) improvável ocorrência de deslizamentos na estação seca (b) poderá, ou não, ocorrer deslizamentos na estação seca	
(a) nenhum deslizamento/dia	< 2% PMA (<45mm)		
(b) deslizamento/dia < 10	> 2% PMA - < 6% PMA (45 - 130mm)		
(c) 10 < deslizamento/dia < 50	> 6% PMA - < 10% PMA (130 - 220mm)		
(d) deslizamento/dia > 50	< 10% PMA (>220mm)		
C) Chuva crítica horária com o acompanhamento da chuva acumulada de 4-dias			
Classificação da chuva do dia	Chuva horária crítica (mm)		
>70mm	$I(AC) = 1603 (AC4d)^{0,935}$	AC4d = chuva acumulada em 4-dias	

Desenvolvendo estudos de escorregamentos deflagrados por chuvas na região de Belo Horizonte entre os anos de 1990 e 1995, XAVIER (1996) concluiu que a maior frequência das ocorrências se verifica entre os meses de outubro a março e que as deflagrações dos movimentos geralmente se iniciam quando os volumes de chuva superam 30 mm em 24 horas e aumentam significativamente em número quando as acumuladas pluviométricas chegam a valores de 50 mm em 48 horas.

Em 1996, a implantação do Sistema Alerta Rio pela Prefeitura do Município do Rio de Janeiro constituiu, sem dúvida, em um grande avanço na utilização prática

dos estudos de correlação entre chuvas e escorregamentos. Aquele foi o primeiro sistema de alerta de escorregamentos com área de atuação específica para uma metrópole Brasileira com cerca de 6 milhões de habitantes, baseado no monitoramento automático, ininterrupto e praticamente em tempo real dos índices pluviométricos em 32 estações telepluviométricas (30 estações entre dezembro de 1996 e agosto de 2000 e 32 a partir de setembro de 2000). Os registros pluviométricos de todas as estações são enviados para a “estação central do sistema” via rádio, em intervalos regulares de 15 minutos, possibilitando análises de intensidades de até mm/15 minutos. Em decorrência da exigüidade de registros pluviométricos horários que pudessem ser associados aos escorregamentos naquele Município (a grande maioria dos dados disponíveis referiam-se a acumuladas diárias, ou seja, milímetros de chuva acumulados em 24 horas), porém com a missão de estabelecer critérios de chuvas horários para a emissão dos “Boletins de Alerta de Escorregamento”, uma equipe de geólogos e engenheiros da Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro, lideradas por d’Orsi, utilizou como base a envoltória de escorregamentos induzidos apresentada no trabalho de TATIZANA *et al.* (1987) e introduziu algumas modificações para adaptação às condições do Município do Rio de Janeiro. Esta proposta e seus resultados, descrita e comentados em D’ORSI *et al.* (1997, 2000, 2004) e em FEIJÓ *et al.* (2001) apresentam duas grandes inovações em relação à proposta de TATIZANA *et al.* (op cit.): inclui a precipitação da hora atual e adota a intensidade de 50mm/h como nível máximo independente da acumulada de 96 horas. Em função da maior facilidade computacional que aquela situação disponibilizava (rápido desenvolvimento e disseminação de equipamentos e programas computacionais e a alimentação automática de registros pluviométricos em banco de dados digitais), a equipe do Sistema Alerta Rio também introduziu uma proposta de monitoramento das acumuladas diárias (mm/24h) em relação às acumuladas em 96 horas, lançando mão de um fator de correção para a envoltória utilizada para o monitoramento das intensidades horárias. Operacionalmente, até meados do ano 2005, toda vez que a intensidade horária ou a acumulada em 24h atingisse, em pelo menos 3 estações pluviométricas de uma das quatro macro bacias hidrográficas do Município do Rio de Janeiro, 75% do valor da envoltória para um determinada condição de acumulada em 96h (Nível de Atenção), a equipe responsável pelo Sistema Alerta Rio se reunia para decidir, com base em registros de novas ocorrências de escorregamentos e na previsão meteorológica de curtíssimo prazo, se o Boletim de Alerta seria ou não emitido (ainda antes de atingir as envoltórias de mm/h ou mm/24h) . Caso pelo menos uma das duas envoltórias fosse atingida em pelo

menos 3 estações de uma mesma macrobacia hidrográfica (Nível de Alerta), então o Boletim de Alerta seria imediatamente emitido (via fax, telefone e e-mail para as principais emissoras de rádio e televisão que operam no Município do Rio de Janeiro). A Figura 2.19 mostra os gráficos com as envoltórias de mm/h e mm/24h utilizados pelo Sistema Alerta Rio até meados de 2005, como critérios para emissão dos Boletins de Alerta de Escorregamento para o Município do Rio de Janeiro.

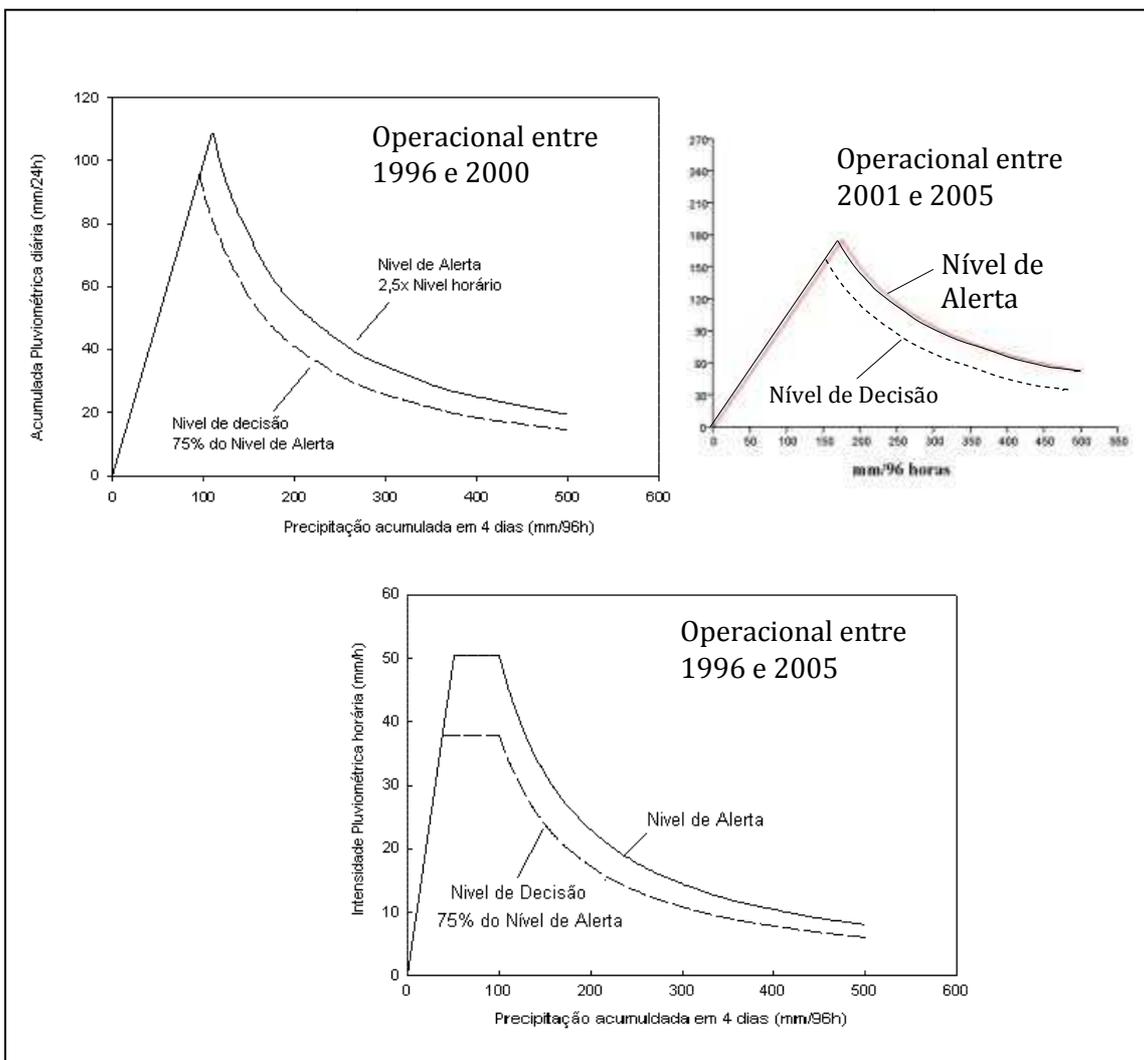


Figura 2.19 – Níveis de decisão e de alerta adotados pelo Sistema Alerta Rio até o mês de maio de 2005, baseados em limiares pluviométricos definidos pelas intensidades horárias e diárias em relação às acumuladas pluviométricas em 96 horas (modificado de D'ORSI *et al.*, 1997 e 2000)

Nos anos que se seguiram a instalação do Sistema Alerta Rio, novos registros de escorregamentos ocorridos nas encostas da Cidade do Rio de Janeiro puderam ser analisados pela equipe responsável por aquele Sistema. Estes novos registros contavam com associações de índices pluviométricos muito mais precisos, tanto devido à proximidade entre a ocorrência e o posto pluviométrico (uma vez que,

com 32 estações telepluviométricas espalhadas pelo Município, dificilmente ocorriam casos de escorregamentos mais distantes do que 4 quilômetros de uma das estações) quanto em relação à intensidade (ou à acumulada) pluviométrica no momento da ocorrência (já que, conforme anteriormente mencionado, o intervalo de tempo entre as coletas dos registros pluviométricos é de 15 minutos). A posse dos detalhados laudos e relatórios referentes aos escorregamentos e o fácil acesso aos registros pluviométricos digitalizados, permitiu à equipe do Sistema Alerta Rio a possibilidade de aferir e ajustar as envoltórias propostas no início da operação do Sistema em 1996. Interessante observar que a envoltória associada à intensidade horária em relação a acumulada em 96h não necessitou de ajustes, conforme relatado em D'ORSI *et al.* (2000), porém o nível crítico para chuva diária (precipitação acumulada sem registros de chuvas nas últimas 96h) que havia sido estabelecido em 117 mm/24h (D'ORSI *et al.*, 1997), foi modificado para 175 mm/24h (vide Figura 2.8). Ainda em relação aos estudos desenvolvidos pela equipe do Sistema Alerta Rio, relativos às correlações entre chuvas e escorregamentos no Município do Rio de Janeiro, cabe citar a proposta de classificação de eventos pluviométricos em função do número acidentes geotécnicos (escorregamentos), apresentada na Tabela 2.11

Tabela 2.11 – Definição de classes para eventos de chuvas (D'ORSI *et al.*, 2000). Os Níveis de Alerta apresentados na Figura 2.8 correspondem às envoltórias para a categoria de Eventos Moderados de Chuva.

Categoria do Evento de Chuva	Número de Acidentes Geotécnicos
Fraco	Até 25
Moderado	25 a 125
Forte	125 a 250
Catastrófico	> que 250

Cabe citar as conclusões daquela equipe, resumidas em FEIJÓ *et al.* (2001), em relação às intensidades e às acumuladas pluviométricas médias a partir das quais se iniciam ocorrências (isoladas) das duas tipologias de acidentes geotécnicos mais freqüentes no Município do Rio de Janeiro: os Escorregamentos em solo desenvolvidos em taludes escavados (ES/tc) e as rupturas de obras de estabilização precárias (REC), normalmente edificadas em comunidades carentes nas

encostas do Município, sem a adoção dos necessários critérios técnicos. De acordo com os estudos de FEIJÓ et al (op cit.), “ES/tc” e “REC”, correspondem a 57% de todas as ocorrências de escorregamentos no Município e ocorrências destas duas tipologias de escorregamento apresentam alta (acima de 75%) probabilidade de ocorrerem quando se registram intensidades / acumuladas pluviométricas a partir de 30mm/h ou 100mm/24h ou 175mm/96h. A Tabela 2.12 apresenta os critérios pluviométricos operacionais utilizados pelo Sistema Alerta Rio, a partir do ano de 2005, para definição dos níveis risco (probabilidade de ocorrência de escorregamentos) durante a ocorrência de eventos chuvosos no Município do Rio de Janeiro.

Tabela 2.12 – Critérios pluviométricos operacionais utilizados pelo Sistema Alerta Rio para definição dos níveis risco (probabilidade de ocorrência de escorregamentos) durante a ocorrência de eventos chuvosos.

Intensidades / acumuladas pluviométricas	Probabilidade de ocorrência de escorregamentos		
	MÉDIA	ALTA	MUITO ALTA
mm/h	10 a 30 mm	30 a 50 mm	> 50 mm
mm/24h	50 a 100 mm	100 a 175 mm	> 175 mm
mm/96h	100 a 175 mm e 10 a 30 mm/24h	175 a 250 mm e 30 a 50 mm/24h	> 250 mm e > 100 mm/24h

Utilizando registros pluviométricos e de escorregamentos nos Morros de Olinda (PE), obtidos durante os anos de 1985 e 1986, ALHEIROS *et al* (2003) conseguiram estabelecer correlações entre a precipitação e a instabilidade nas encostas com base nas acumuladas diárias e no histórico pluviométrico desde o início da estação chuvosa até o momento da ocorrência. Aqueles autores definiram um parâmetro “R” (Relação entre níveis piezométricos e precipitação), de tal modo que quando o valor de R ultrapassa um valor crítico, inicia-se o escorregamento. O cálculo de R é obtido pela expressão $R = P_{ac} \cdot I_i$, sendo P_{ac} a precipitação acumulada desde o

início da estação chuvosa (mm) e I_1 a Intensidade da chuva em 24 horas (mm). No caso de Olinda, o valor crítico de R (correspondente ao nível d'água máximo suportado em condições de estabilidade) é de 60.000 mm². A proposta de ALLHEIROS et al (2003) demanda monitoramento automático de níveis piezométricos, o que pode aumentar muito os custos e inviabilizar a utilização desta metodologia em determinadas localidades.

Dentre os estudos de correlações entre chuvas e escorregamentos desenvolvidos no Município de Vitória (ES), destaca-se o trabalho de SALAROLI (2003), que utilizou dados pluviométricos e de movimentos de massa restritos ao período de 1999 a 2001. A autora dispunha exclusivamente de registros pluviométricos diários (mm/24h), tendo orientado a sua análise para verificação de associações entre as acumuladas diárias e as chuvas antecedentes de até sete dias. Numa primeira fase de seus estudos, SALAROLI (op cit) concluiu que precipitações pluviométricas contínuas (sem interrupção) acima de 106,9 mm apresentam alta probabilidade de desencadear movimentos de massa. Num segundo momento, SALAROLI (op. cit) concluiu que a melhor correlação com a chuva antecedente se dava com a acumulada em 4 dias (96h) e, a partir daí, propôs três classes de risco em relação a probabilidade de ocorrência de escorregamentos: Observação (0 a 36mm/96h) – Risco baixo; Atenção (36 a 87,5mm/96h) – Risco moderado e Alerta (> 87,5mm/96h) – Risco alto.

VIEIRA (2004) também logrou algum êxito no estabelecimento de relações entre chuvas e escorregamentos na região de Blumenau (SC), tendo concluído que acumuladas pluviométricas a partir de a 50mm em 3 dias já são suficientes para iniciar processos de instabilidade nas encostas daquela região.

Ainda neste contexto, cabe citar os estudos realizados por CASTRO (2006), que analisou as diferentes metodologias existentes para a determinação dos limiares pluviométricos críticos da região de Ouro Preto (MG). A autora investigou 417 ocorrências de escorregamentos verificadas entre os anos de 1988 e 2004 e concluiu que as chuvas acumuladas nos cinco dias antecedentes ao escorregamento podem ser consideradas como as mais efetivas no processo de instabilização. CASTRO (op.cit.) também verificou que precipitações diárias de 55 mm associadas a acumuladas pluviométricas de 129 mm em cinco dias apresentam alta probabilidade de provocar eventos de grande porte (acima de 10 ocorrências) e que a melhor relação numérica encontrada entre a precipitação acumulada (PA) de cinco dias e a

precipitação diária (PD) para a ocorrência de escorregamentos generalizados (mais de uma ocorrência no mesmo dia) é: $PD = 6386,6 \times PA^{-1,3847}$. (Figura 2.20).

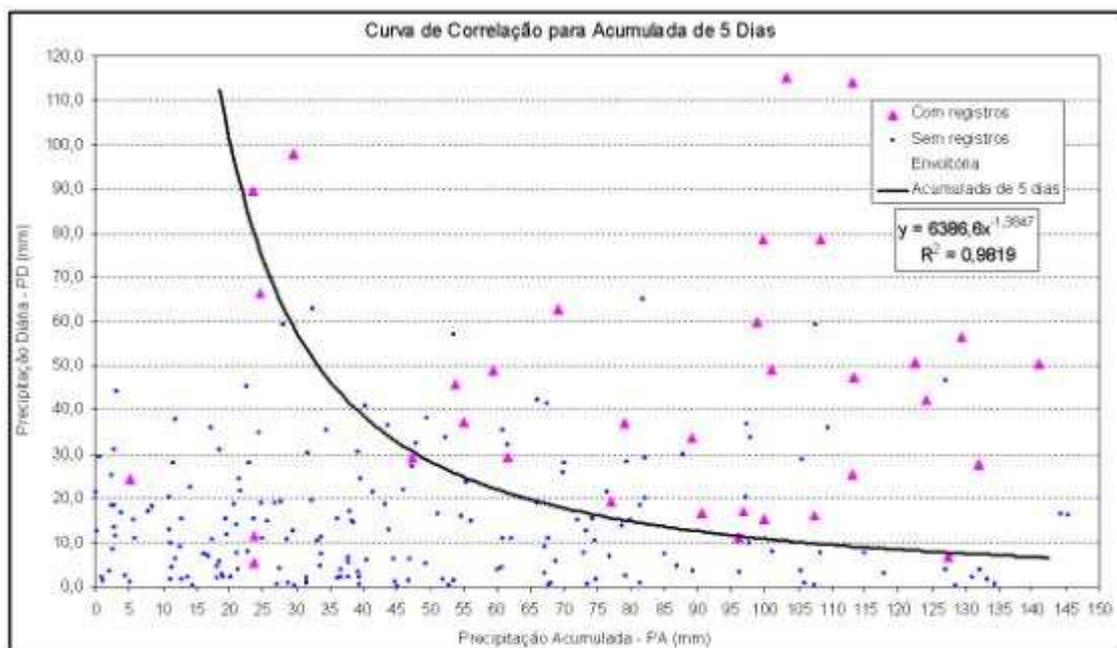


Figura 2.20 – Curva de correlação entre precipitação diária e acumulada para cinco dias para escorregamentos generalizados (CASTRO, 2006)

Mais recentemente, BANDEIRA (2010) estudou escorregamentos na Região Metropolitana de Recife (PE) e verificou que para melhores resultados de correlação naquela área haveria a necessidade de registros pluviométricos com intervalos inferiores a 24h para fins de Defesa Civil. Não obstante, a autora conseguiu verificar a influência dos acumulados pluviométricos em 72h e de longo prazo e que registros de escorregamentos já podiam ser observados partir de chuvas com pluviometria maior do que 30 mm/24h.

Por fim, cabe citar os estudos realizados por PARIZI *et al* (2010) para o Município de Belo Horizonte (MG), a partir de escorregamentos deflagrados por chuvas entre os anos de 2006 e 2008. Aqueles autores lograram determinar que o início dos processos de instabilização tendem a ocorrer a partir de 100mm/3 dias e/ou a partir de 70mm/24h e que os dias em que se observaram um número de escorregamentos maiores ou igual a 6, sempre estiveram associados a registros de chuvas intensas diárias (mm/24h).

2.3 - Suscetibilidade a Movimentos de Massa e Risco Geológico-Geotécnico

A pesquisa bibliográfica referente ao zoneamento do risco geológico associado a escorregamentos no trecho da subida da Serra da BR 116 RJ revela que para este curto (km 89 a 104) segmento da Rodovia existem pelo menos três importantes levantamentos sistemáticos de risco já realizados: o mapeamento feito pelo geólogo Hunt na década de 1980 relatado em HUNT (2005), o levantamento da empresa SALCONSULT Engenharia em 2005 e os levantamentos efetuados pela Fundação COPPETEC (EHRlich e LIMA, 2008, 2009, 2010 e 2011), todos levantamentos solicitados pela Concessionária CRT.

Segundo HUNT (2005), o levantamento se concentrou entre os Km 89 e 98, correspondente ao segmento mais intensamente prejudicado pelas chuvas ocorridas na década de 1970. O zoneamento do risco foi efetuado utilizando quatro classes de risco (baixo, moderado, alto e muito alto) e apresenta informações referentes às unidades geológico-geotécnicas (solo residual, colúvio, aterro, rocha) predominantes nos taludes marginais e aos aspectos associados às instabilização mais significativos (erosões, percolações, escorregamentos rotacionais, etc.). Uma análise mais detalhada do documento mostra que Hunt identificou oito segmentos de talude apresentando condições de risco muito alto e quatorze segmentos com situação de risco alto. A Figura 2.21 reproduz parcialmente o trabalho de HUNT (op.cit.)

No trabalho efetuado pela SALCONSULT Engenharia, a avaliação de pontos subdividem-se em três classes (baixo, médio e alto) tendo sido identificados nove pontos de risco, quatro dos quais receberam a classificação de risco moderado e os demais cinco não mais apresentavam risco em função de intervenções (obras de estabilização) já concluídas ou em fase de conclusão. O Relatório apresentado pela SALCONSULT Engenharia também incluiu uma breve descrição das situações de risco e das intervenções programadas (ou em execução) pela CRT para a redução/mitigação do risco. A Tabela 2.13 apresenta o cadastro dos pontos de risco apresentados pela SALCONSULT em junho de 2005 à CRT.

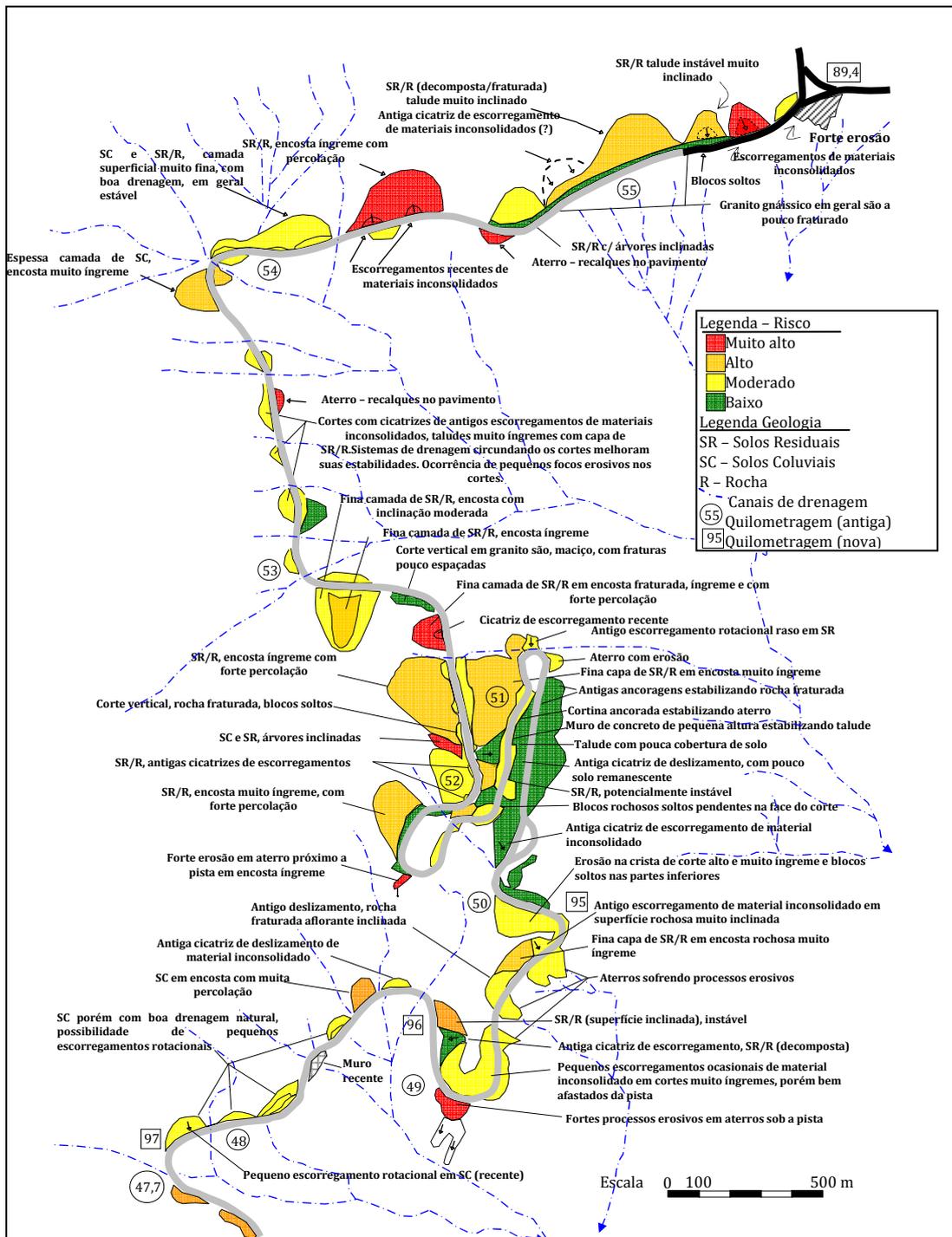


Figura 2.21 – Mapa de Risco da Rodovia BR 116 RJ, realizado em 1979 pelo geólogo Roy E. Hunt correspondente à Figura 9.98 de seu livro Geotechnical Engineering Investigation Handbook (HUNT, 2005).

Tabela 2.13 - Cadastro de pontos de risco realizado pela empresa SALCONSULT Engenharia Ltda. em 2005, por solicitação da Concessionária CRT.

LOCAL KM	DESCRIÇÃO SUMÁRIA	GRAU DE RISCO			Providências CRT
		Alto	Médio	Baixo	
90,0	Corte de taludes rochosos e trecho de aterro com abatimento	-	-	-	Obras de corte já executadas c/previsão de complementos. Contenção de aterro em conclusão
93,5	Corte de taludes rochosos com lascas e blocos instáveis	-	-	-	Obras de contenção de blocos e lascas já executadas
95,0	Corte de taludes rochosos com lascas e blocos instáveis e taludes de alteração de rocha sujeitos a deslocamentos	-	-	-	Obras de contenção de blocos, lascas e taludes de alteração de rocha já executadas
97,5	Corte com escorregamento superficial		M		Projeto de melhoria de estabilidade previsto para elaboração até Agosto/2005
98,0	Corte em talude rochoso instável		M		Projeto de melhoria de estabilidade previsto para elaboração até Agosto/2005
98,9	Corte com escorregamento superficial		M		Projeto de melhoria de estabilidade previsto para elaboração até Agosto/2005
99,0	Capa de solo escorregada sobre matriz rochosa e instabilidade de manto terroso mais a montante	-	-	-	Obras de contenção em execução
99,1	Corte com escorregamento superficial		M		Projeto de melhoria de estabilidade previsto para elaboração até Agosto/2005
101,0	Aterro em processo de consolidação com deformação de nível	-	-	-	Trecho em permanente monitoramento, com correção de nível de quando necessário

Nos estudos sobre risco na Rodovia realizado por EHRLICH e LIMA (2008, 2009, 2010 e 2011) - foram adotadas, na metodologia básica as indicações contidas no “VOLUME 5 do MANUAL DE MONITORAÇÃO DOS TERRAPLENOS E ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO” (ANTT, 2008). O levantamento de campo foi executado no mês de novembro de 2008 e objetivou a definição do risco associado a eventos geotécnicos em segmentos de talude existentes entre os Km 2,7 e 105,9, da BR-116/RJ. Ressalta-se, entretanto, que a escolha dos pontos vistoriados foi pré-definida pela própria CRT.

A metodologia utilizada visou pontuar o risco através da avaliação da probabilidade de perigo bem como dos impactos sobre a vida humana, sobre a funcionalidade da rodovia, sobre o meio ambiente e sobre as facilidades de apoio. De acordo com o valor do seu grau, o risco foi classificado em “muito elevado” (RME); “elevado” (RE); “moderado” (RM); “baixo” (RB) e “muito baixo” (RMB). A Figura 2.22 apresenta uma planilha básica utilizada por EHRLICH e LIMA (*op.cit.*) em seu trabalho.

No trecho de interesse da presente Tese, EHRLICH e LIMA (*op.cit.*) vistoriaram quatro pontos de risco, localizados nos quilômetros 90,5, 93,5, 97,15 e 101,0. No ponto referente ao km 90,5, correspondente a um talude rochoso fraturado extenso (cerca de 1 km), vertical (90°) e elevado (20m de altura), o risco foi classificado como “elevado” e associado à possibilidade de movimentações de blocos e lascas rochosos, em especial às quedas blocos a partir da face do talude.

O ponto alusivo ao km 93,5 teve o risco classificado como “moderado” e, assim como no ponto do km 90,5, também estaria associado às quedas de blocos a partir da face de um talude rochoso vertical, fraturado sendo, porém, neste caso, a extensão e a altura do talude, bem menores e estimadas em, respectivamente, 20m e 6m.

O risco no km 97,15 foi considerado “baixo” e, novamente, associado à possibilidade de movimentação de blocos/lascas rochosos. Neste caso, porém, o talude encontra-se recoberto por vegetação de pequeno e médio porte, em sua face predominantemente rochosa. As dimensões geométricas do talude foram estimadas no levantamento de campo como sendo a extensão de 100m, a altura de 5m e a inclinação vertical.

Finalmente, o ponto vistoriado relativo ao km 101,0 teve o risco classificado como “moderado” e associado a lenta movimentação de uma antiga língua coluvionar que atravessa a rodovia numa extensão de aproximadamente 100 m, causando deformações (abatimentos, enrugamentos, etc.) e trincas na pista de rolamento.

TERRAPLENOS E ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO – FICHA DE MONITORÇÃO	
Rodovia: _____	Concessionária: _____
Localização do Ponto	
km: _____ Sentido: _____ Lado: _____	Coordenadas Geográficas: Lat. _____ Lon. _____ Faixa de domínio: <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
Data da visita: ____/____/____	Data do relatório: ____/____/____ Inspetor: _____ Nº de referência: _____
Caracterização Geral do Ponto	
Encosta	
<input type="checkbox"/> Natural <input type="checkbox"/> Corte <input type="checkbox"/> Aterro <input type="checkbox"/> Montante <input type="checkbox"/> Jusante <input type="checkbox"/> Mont./Jusante	Geometria: Altura: _____ Extensão: _____ Inclinação: _____
Unidade Geológica: <input type="checkbox"/> Rocha <input type="checkbox"/> Solo <input type="checkbox"/> Rocha/solo <input type="checkbox"/> Lixo	Descrição: _____
Vegetação: <input type="checkbox"/> Ausente <input type="checkbox"/> Rasteira <input type="checkbox"/> Arbustiva <input type="checkbox"/> Arbórea	Densidade: <input type="checkbox"/> Alta <input type="checkbox"/> Média <input type="checkbox"/> Baixa
Ocupação na área de influência: <input type="checkbox"/> Ausente <input type="checkbox"/> Precária <input type="checkbox"/> Outras	Drenagem: <input type="checkbox"/> Ausente <input type="checkbox"/> Insuficiente <input type="checkbox"/> Suficiente <input type="checkbox"/> Nociva
Geomorfologia do local: <input type="checkbox"/> Planície <input type="checkbox"/> Morro <input type="checkbox"/> Talvegue	Descrição: _____
Evento <input type="checkbox"/> Ocorrido <input type="checkbox"/> Potencial	
Tipologia: _____ <input type="checkbox"/> Erosão <input type="checkbox"/> Escorregamento <input type="checkbox"/> Mov. de Blocos/Lascas <input type="checkbox"/> Rastejo	Demais informações: _____
Observações: <input type="checkbox"/> Trincas <input type="checkbox"/> Abatimentos <input type="checkbox"/> Surgência de água <input type="checkbox"/> Degrau na pista <input type="checkbox"/> Outros sinais de deformação	
Obras de estabilização existentes:	
Tipologia: <input type="checkbox"/> Muro de concreto armado <input type="checkbox"/> Muro de concreto ciclópico <input type="checkbox"/> Muro de pedra argamassada ou amurada <input type="checkbox"/> Muro de gabião <input type="checkbox"/> Cortina atirantada <input type="checkbox"/> Solo reforçado <input type="checkbox"/> Solo grampeado <input type="checkbox"/> Crib wall <input type="checkbox"/> Contrafortes atirantados <input type="checkbox"/> Chumbadores e brantes para blocos de rocha <input type="checkbox"/> Muros de saco de solo cimento <input type="checkbox"/> Concreto projetado <input type="checkbox"/> Tela metálica <input type="checkbox"/> Canaletas e demais dispositivos de drenagem <input type="checkbox"/> Revegetação	
Demais informações: _____	
Observações: <input type="checkbox"/> Trincas/deformações estruturais <input type="checkbox"/> Deslocamento/inclinação da estrutura <input type="checkbox"/> Drenos obstruídos <input type="checkbox"/> Deficiência de filtro <input type="checkbox"/> Deterioração estrutural <input type="checkbox"/> Deterioração da tela do gabião <input type="checkbox"/> Danos nos brantes	
Causas prováveis do evento ocorrido ou potencial: <input type="checkbox"/> Cortes <input type="checkbox"/> Aerodetrítos <input type="checkbox"/> Chuva intensa <input type="checkbox"/> Estrutura geológica <input type="checkbox"/> Drenagem deficiente <input type="checkbox"/> Contenção deficiente <input type="checkbox"/> Desmatamento. Outros: _____	
Documentos Disponíveis	
Projeto: <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	Referência: _____
Topografia: <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	Referência: _____
Investigações geotécnicas: <input type="checkbox"/> Sondagens <input type="checkbox"/> Outros: _____	Resumo dos Resultados: _____
Instrumentação: <input type="checkbox"/> Inclínmetro <input type="checkbox"/> Piezômetro <input type="checkbox"/> Placas de recalque <input type="checkbox"/> Outros: _____	Resumo dos Resultados: _____
Intervenções em Execução	
<input type="checkbox"/> Monitoração <input type="checkbox"/> Estudos geotécnicos <input type="checkbox"/> Projeto <input type="checkbox"/> Obras	
Descrição: _____	
Intervenções Propostas	
<input type="checkbox"/> Monitoração <input type="checkbox"/> Estudos geotécnicos <input type="checkbox"/> Projeto <input type="checkbox"/> Obras	
Descrição: _____	
Data prevista: ____/____/____	
Grau de Risco (Para o preenchimento dos campos abaixo deverão ser consideradas as tabelas do manual)	
Fator de probabilidade de Perigo	
Situação de Risco (faixa de pontuação)	Pontuação
Trincas, abatimentos, levantamento da base do talude ou outras evidências de movimentação do talude, inclinação de árvores, etc	(9 a 5)
Talude rochoso intensamente fraturado, com juntas abertas e inclinação destas desfavorável a estabilidade	(9 a 7)
Talude rochoso fraturado com juntas com inclinação desfavorável ao talude	(8 a 4)
Estruturas de contenção ou de drenagem com anormalidades	(9 a 2)
Surgência de água	(8 a 4)
Blocos soltos sobre base inclinada	(8 a 2)
Trincas em canaletas	(7 a 3)
Cicatrizes de escorregamento ou erosão	(6 a 2)
Assentamentos precários nas encostas	(3 a 1)
Drenos e sistemas de drenagem obstruídos	(3 a 1)
Deságüe inadequado	(3 a 1)
Local em talvegue ou descida de água natural	(3 a 1)
Lixo e detritos na encosta	(3 a 1)
Deficiência de cobertura vegetal	(2 a 1)
Soma da pontuação = _____	Fator de probabilidade = _____ (1 a 5)
Fatores de Impacto (1 a 5)	
Vida Humana: _____ (P ₁ = 1,4)	Integridade da rodovia: _____ (P ₂ = 0,8)
Meio-ambiente: _____ (P ₁ = 1,2)	Facilidade de apoio: _____ (P ₂ = 0,4)
Funcionalidade da rodovia: _____ (P ₃ = 1,2)	Soma ponderada dos fatores de impacto = _____
Grau de Risco = _____	Classificação do Risco = _____ (RB, RM, RE, RME)

Figura 2.22 – Ficha de monitoração de um ponto utilizada por EHRlich e LIMA (2008, 2009, 2010 e 2011) para a análise de risco geotécnico em pontos situados na BR116/RJ.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODO

3.1 - Aspectos Gerais

O desenvolvimento da pesquisa foi basicamente dividido em duas etapas básicas, sendo a primeira correspondente ao levantamento de dados e a segunda às análises dos dados e tentativas de correlações com a consequente apresentação dos resultados, conclusões e recomendações quanto às questões operacionais da Rodovia com base nos elementos subsidiados pela pesquisa.

O levantamento dos dados teve início com uma recuperação, na bibliografia técnica existente, das principais características fisiográficas da região estudada. Objetivou-se, neste estágio da pesquisa, amearhar um melhor conhecimento do meio físico, especialmente com foco nas questões climatológicas. Além das informações referentes ao o clima, também foram levantados aspectos relativos à geologia, geomorfologia e vegetação.

Em seguida ao levantamento da fisiografia local, a pesquisa se concentrou na revisão bibliográfica em nível nacional e internacional, especificamente sobre os trabalhos de correlação entre pluviometria e movimentos de massa. Neste âmbito, foram pesquisadas teses de doutorado e de mestrado, anais de simpósios, congressos, workshops, etc., revistas técnicas e sites na Internet. Felizmente, atualmente o tema é bastante difundido e existe uma relativa riqueza de informações. Esta fase da pesquisa foi de grande relevância para o desenvolvimento da própria metodologia a ser adotada nas correlações experimentadas na tese, pois mostrou que não existe uma única metodologia que seja adequada para todas as situações. Na verdade, cada região, em função da disponibilidade de dados (pluviométricos, tipologia de movimentos de massa, etc.) e das características do meio físico terá metodologia uma específica, que será a mais apropriada para as condições existentes no momento da pesquisa. E, mesmo esta metodologia própria, poderá, com o advento de novas tecnologias e maior quantidade de dados, ser aperfeiçoada ou modificada às novas condições. Em todas as situações, entretanto, a obtenção de uma boa metodologia, com bons resultados, estará sempre condicionada à quantidade e à qualidade dos dados.

Uma vez concluída a fase de pesquisa sobre estudos anteriores, os esforços foram concentrados nos levantamentos dos dados pluviométricos e nos dados sobre as ocorrências de movimentos de massa na rodovia propriamente dita, para o período entre 1980 e 2010. A maior parte dos registros pluviométricos foi obtida nos fichários (em papel) existentes no 6º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, com sede na cidade do Rio de Janeiro. Diversas visitas foram necessárias àquela sede, visitas estas facilitadas pela intervenção do meteorologista Luiz Carlos Austin, então Chefe do Distrito. O INMET possui duas estações meteorológicas na região próxima à área da tese, a estação Teresópolis e a estação Parque Nacional de Teresópolis, cujos registros se iniciaram muito antes da década de 1980. Conforme melhor explicitado mais adiante no item 3.2 do presente Capítulo, sempre que possível priorizou-se os dados pluviométricos da estação Parque Nacional de Teresópolis (mais próxima da área da tese), porém quando não disponíveis estes dados, foram utilizados dados da estação Teresópolis e, à estes, aplicados um fator de normalização. Cabe ressaltar que os fichários com dados destas duas estações apenas dispunham registros pluviométricos diários (mm acumulados em 24 horas), situação que perdurou até o ano de 2007, quando a CRT instalou telepluviômetros automáticos na rodovia, com registros a cada 15 minutos e a estação Parque Nacional de Teresópolis recebeu uma atualização tecnológica e passou a produzir registros horários (mm acumulados em cada hora cheia), disponibilizados no site da Internet do INMET.

Os dados sobre os movimentos de massa foram obtidos do seguinte modo:

- 70% nos relatórios de obras do DNER existentes em um posto da ANTT no km 106 da rodovia (no município de Guapimirim);
- 25% nos banco de dados da CRT e
- 5% de fontes como periódicos, sites na Internet e artigos técnicos.

Em alguns casos (em geral chuvas intensas com grande número de ocorrências de movimentos de massa associados) o volume de informações era bastante grande; na maioria dos casos, entretanto, as informações sobre as ocorrências eram pouco aprofundadas e com incertezas associadas. Esta variabilidade levou o autor a adotar uma ficha padrão (Figura 3.1) para cada registro de ocorrência de movimento de massa, de modo a contemplar todas as ocorrências analisadas. Cada ocorrência analisada recebeu um número individual (Oc) e foi associada a um evento

pluviométrico significativo (Ev) . Deste modo os dados puderam ser organizados em planilhas eletrônicas, facilitando suas análises e permitindo a construção de gráficos.

<ul style="list-style-type: none">• Ev. n^o.• Oc. n^o.• Localização (km):• Data:• Horário:• Posição em relação à pista (montante / jusante):• Descrição da ocorrência (tipologia, volumes, materiais, etc.):• Consequências:

Figura 3.1 - Ficha padrão utilizada para reunir dados sobre ocorrências de movimentos de massa na rodovia BR 116 RJ.

Ainda nesta fase foram levantados os trabalhos existentes sobre a suscetibilidade e o risco associado a movimentos de massa, especificamente realizados no trecho de interesse da pesquisa. Estas informações foram obtidas em artigos técnicos e em relatórios disponibilizados pela CRT sobre serviços contratados pela Concessionária e realizados por empresas privadas ou pela COPPETEC. Maiores informações sobre estes trabalhos estão apresentadas no item 2.3 do capítulo 2

A segunda etapa teve início com uma breve análise estatística das informações sobre as ocorrências dos movimentos de massa objetivando um melhor entendimento da distribuição das ocorrências dos movimentos de massa, e, portanto, da suscetibilidade em relação a estes fenômenos. Nesta fase, procurou-se organizar as informações em gráficos e tabelas de modo a facilitar o seu entendimento global. Paralelamente, foram analisadas imagens de satélite (Google.com) e as bases cartográficas disponíveis (Folhas 1:50.000) de modo a se identificar os pontos de cruzamento dos eixos dos talwegues mais proeminentes com o traçada da via. Estes

pontos foram considerados como os locais onde existe a maior probabilidade da rodovia ser atingida por eventuais ocorrências de corridas de detrito.

Concluídas as fases anteriores, e tendo como base os dados pluviométricos amealhados na fase de levantamentos, o desenvolvimento da pesquisa prosseguiu, então, na execução de estudos numéricos e gráficos que objetivaram verificar se – com os dados existentes – seria possível se determinar a existência de correlação(ões) entre a pluviometria e os movimentos de massa. Esta fase está descrita nos itens 3.2 a 3.4, subsequentes, que explicam detalhadamente os critérios e métodos utilizados na utilização dos dados e na elaboração dos gráficos de correlação.

Uma vez finalizada a fase de análise das tentativas de correlação, os consequentes resultados foram avaliados pelos orientadores da Tese e, a partir de consenso geral, as conclusões da pesquisa e as recomendações relativas à utilização dos resultados pela CRT foram sintetizadas no capítulo final da Tese.

3.2 - Sobre a definição dos dados pluviométricos utilizados nas correlações

Tomando-se por base os registros obtidos nas pesquisas referentes aos Eventos Pluviométricos e às “Ocorrências” de acidentes geológicos (escorregamentos *sensu lato*), foi possível posicionar os dados analisados em uma das três grandes situações a seguir:

1. Eventos Pluviométricos com registros de Ocorrências;
2. Eventos Pluviométricos sem registros de Ocorrências e
3. Ocorrências circunstâncias (não diretamente associadas a eventos pluviométricos).

Fenômeno natural aparentemente simples de ser definido, os Eventos Pluviométricos apresentam definição complexa conforme aumenta a abundância dos seus registros pluviométricos. Por definição, um Evento Pluviométrico tem seus limites temporais associados às datas e aos horários do início e do final da precipitação, sendo a precipitação total dos Eventos aquela correspondente à pluviometria acumulada naquele período temporal. Se, por exemplo, na área de interesse, existe apenas uma única estação pluviométrica, com leituras diárias, qualquer precipitação pluviométrica registrada em um determinado dia implica na ocorrência de um único

Evento Pluviométrico (um evento chuvoso). Entretanto, se o número de estações na área de interesse é maior do que 2 e o intervalo de coleta dados diminui (por exemplo, a cada 1 hora) então, teoricamente, pode ocorrer um grande número de “Eventos Pluviométricos” em um mesmo dia. Em tais casos, faz-se, portanto, necessário, o estabelecimento de critérios para se definir o início e o final do Evento Pluviométrico. No presente estudo, nos casos em que existiu a disponibilidade de dados pluviométricos horários, porém não foram registrados escorregamentos, considerou-se como início do Evento a data / horário em que se registrou pluviometria em 1 hora maior do que 20mm e o final do Evento à data/horário em que a pluviometria acumulada em 4 horas consecutivas fosse menor do que 5 mm. Cabe também citar que nestes casos de eventos pluviométricos em que não foram registradas ocorrências de escorregamentos, foram utilizados os valores pluviométricos máximos do Evento, tanto em termos de intensidade pluviométrica (maior valor em mm/h) como em termos de acumulada pluviométrica em todo o Evento (mm no período total do evento em horas). Deste modo, para cada “Evento sem ocorrência”, foram plotados dois pontos nos gráficos de correlação entre as chuvas e os escorregamentos. Como exemplo, apresentamos uma situação hipotética representada na Figura 3.2. Nesta situação, o Evento pluviométrico sem registros de Ocorrências começa às 15 h, pois somente a partir deste horário registra-se uma intensidade pluviométrica maior (ou igual) a 20mm/h. O final do Evento foi estabelecido às 21:00 h, pois somente a partir desta hora verificam-se 4 registros consecutivos em que a intensidade pluviométrica horária foi menor ou igual a 5mm. Assim sendo, para este Evento em particular, obtivemos dois pares de valores pluviométricos: a = (28.9mm/h, 53,3 mm/24h) e b = (0,2 mm/h, 93,4mm/24h).

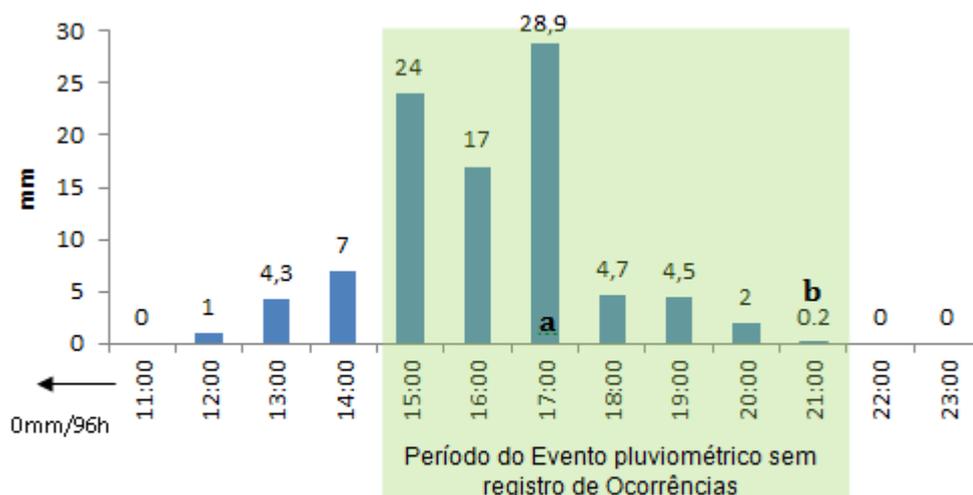


Figura 3.2 – Exemplo da metodologia empregada para a definição de Eventos sem registros de Ocorrências utilizando dados horários.

Nas situações em que só existia a disponibilidade de dados pluviométricos diários (mm/24h) o índice pluviométrico de corte foi 50 mm. No caso de existirem 2 índices acima de 50 mm com menos de 5 dias de diferença, o maior índice foi considerado como acumulado em 24h e o resto do período entra como acumulado em 96h. Na Figura 3.3 apresentamos um exemplo hipotético em que ocorrem dois registros maiores que 50mm/24h. O registro utilizado correspondeu ao par pluviométrico (67mm/24, 115mm/96h).

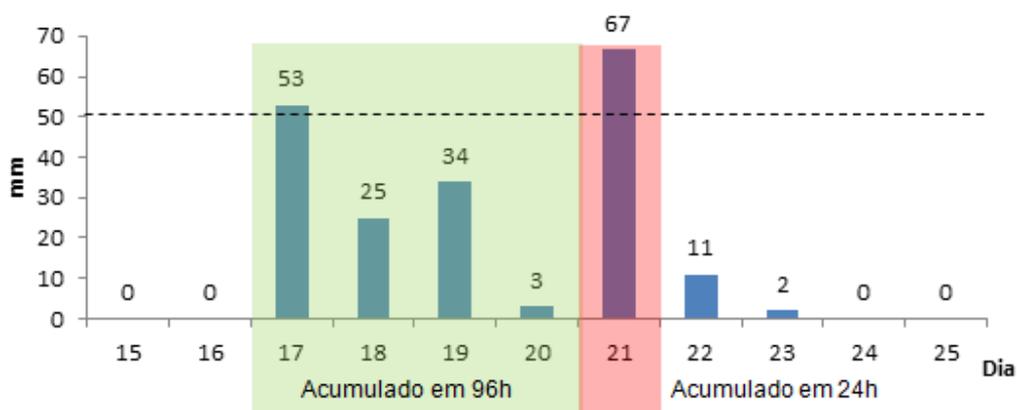


Figura 3.3 – Exemplo da metodologia empregada para a definição de Eventos sem registros de Ocorrências utilizando dados diários.

Nos Eventos Pluviométricos com registros de ocorrências utilizou-se, obviamente, a pluviometria (intensidade horária, acumuladas) associada diretamente à data/hora das ocorrências.

Dependendo das características (intensidade, localização, etc.) do Evento Pluviométrico, o número de “Ocorrências” (Oc) em cada Evento pode variar desde um único escorregamento isolado, até um conjunto de escorregamentos, conforme se verifica no Capítulo 5. As aqui denominadas “Ocorrências Circunstanciais” referem-se a registros de escorregamentos ocorridos em condições pluviométricas (intensidade horária ou acumuladas em 24h, 48h, 72h e 96h) muito baixas a inexistentes, não compatíveis com os processos mais usuais de instabilização associados às chuvas, tais como os avanços de frentes de saturação e os desenvolvimentos de processos erosivos superficiais. Estima-se que, na maioria dos casos, as ventanias fortes (derrubando árvores e revolvendo o material terroso circundante) e a ação do intemperismo físico (contrações e dilatações das rochas devido a variações térmicas, levando-as à fragmentação) tenham sido os principais agentes deflagradores das “Ocorrências Circunstanciais”.

Uma vez que na área de interesse direto da Tese existiam registros pluviométricos oriundos de 4 diferentes estações pluviométricas (Fichas Técnicas apresentadas no Capítulo 4), fez-se necessário o estabelecimento de critérios para se decidir qual de estação pluviométrica teria utilizado o seu registro pluviométrico nas correlações com as ocorrências de escorregamentos. Assim sendo, foi dada preferência, sempre que possível, às estações da CRT do km 90 e do Posto Garrafão (km 94) que, obviamente, possuem localizações que melhor refletem a pluviometria da área de interesse.

Quando não disponíveis os dados destas estações da CRT, foram utilizados os registros da estação automática Teresópolis (A618) do INMET e, em último caso, (quando não houvesse registros das três estações anteriores) foram utilizados os dados da estação convencional Teresópolis (Nº. 83744), também integrante da rede de estações do INMET. Cabe aqui explicar que a estação pluviométrica Teresópolis (Nº. 83744) está localizada no centro da Cidade homônima, distante cerca de 4km da estação convencional Parque Nacional de Teresópolis – Nº.83806. Conforme já comentado no Capítulo 4, a Estação Parque Nacional de Teresópolis (83806) foi instalada na sede daquele Parque Nacional e se manteve operacional entre 1943 e 1980. Embora fosse relativamente pequena a distância entre os sítios das estações Nº. 83744 e Nº. 83806 existiam entre estes sítios condições

fisiográficas (ventos, umidade, fundo de vale, área urbanizada, etc.) diferentes o suficiente para que suas pluviometrias fossem significativamente diferentes entre si, para um mesmo evento chuvoso.

Assim sendo, para se reduzir o erro devido a estas significativas diferenças fisiográficas entre a estação Teresópolis e a área de interesse do presente estudo, foi aplicado, aos registros pluviométricos da Estação Teresópolis Nº. 83744 utilizados nas correlações, um “Fator de Normalização” (FN). Este Fator de Normalização utilizou como base os dados da estação Parque Nacional de Teresópolis Nº. 83806, localizada mais perto da área de Estudo e, portanto, possuidora de uma pluviometria mais representativa da área de interesse da Tese. O “Fator de Normalização” foi determinado em 1,45 e seu cálculo considerou, basicamente, o total médio de chuva ao longo do ano, que é 45% maior na estação Parque Nacional de Teresópolis. Cabe acrescentar, contudo, que outros parâmetros pluviométricos também evidenciam esta diferença entre as duas estações, em especial a relação entre as maiores chuvas em 24 h nas duas estações, que é 53% maior na estação Parque Nacional de Teresópolis (Nº. 83806), o número médio de dias com chuva, que é 16% maior na estação Nº. 83806 e os maiores totais mensais de chuva, que são 60% maiores na estação Nº. 83806. As tabelas 3.1 a 3.4 apresentam comparações pluviométricas entre as estações Parque Nacional de Teresópolis - Nº. 83806 e Teresópolis - Nº. 83744 (no centro de Teresópolis).

Tabela 3.1 – Comparação das maiores chuvas em 24h entre as estações Parque Nacional de Teresópolis (83806) e Teresópolis (83374). Fonte INMET (2006).

Maiores chuvas 24h		
Mês	Teresópolis	Parque Nacional de Teresópolis
1	141	162
2	140	183
3	134	204
4	124	220
5	127	115
6	54	105
7	62	154
8	43	158
9	63	133
10	71	158
11	134	149
12	145	156
Total	1238	1897
Diferença %	Parque > 53%	

Tabela 3.2 – Comparação do número médio de dias com chuvas entre as estações Parque Nacional de Teresópolis (83806) e Teresópolis (83374). Fonte INMET (2006).

Número médio de dias com chuva		
Mês	Teresópolis	Parque Nacional de Teresópolis
1	20	20
2	15	17
3	16	18
4	11	15
5	9	11
6	6	9
7	8	9
8	7	9
9	11	12
10	14	18
11	18	20
12	20	22
Total	155	180
Diferença %	Parque > 16%	

Tabela 3.3 – Comparação dos maiores índices pluviométricos totais mensais entre as estações Parque Nacional de Teresópolis (83806) e Teresópolis (83374). Fonte INMET (2006).

Maiores totais mensais de chuva		
Mês	Teresópolis	Parque Nacional de Teresópolis
1	478	969
2	422	649
3	374	709
4	208	497
5	235	250
6	234	183
7	119	259
8	134	252
9	347	275
10	257	428
11	372	737
12	534	747
Total	3714	5955
Diferença %	Parque > 60%	

Tabela 3.4 – Comparação do índice médio de chuva entre as estações Parque Nacional de Teresópolis (83806) e Teresópolis (83374). Fonte INMET (2006).

Total médio de chuva		
Mês	Teresópolis	Parque Nacional de Teresópolis
1	290	379
2	186	318
3	182	323
4	110	240
5	61	127
6	39	83
7	43	92
8	43	113
9	83	144
10	134	235
11	225	362
12	301	435
Total	1697	2851
Diferença %	Parque > 45%	

Embora seja de conhecimento geral que as ocorrências de escorregamentos (em uma dada região) deflagrados por chuvas intensas não tenham ocorrido, simultaneamente, durante o evento pluviométrico em questão, as análises realizadas no presente trabalho utilizaram como informações temporais (data/horário) das ocorrências a datas e horário da primeira ocorrência registrada no evento pluviométrico em questão. Assim, se, por exemplo, um determinado evento teve 5 ocorrências, a informação temporal daquele evento correspondeu ao momento da primeira ocorrência, mesmo que tenha ocorrido um intervalo de várias horas entre a primeira e a última ocorrência. Trata-se de uma abordagem um tanto conservadora, porém coerente com o grau de incertezas temporais relacionadas às ocorrências, já comentadas em Capítulos anteriores.

3.3 - Organização dos Dados e das Correlações

Conforme descrito no item 2.2 - Estudos de Correlações entre Chuvas e Movimentos de Massa no Brasil e no Mundo, existe um expressivo número de tipologias das análises de correlações entre chuvas e escorregamentos, algumas das quais computando as acumuladas pluviométricas ao longo dos meses do ano, enquanto que outras dão maior ênfase à pluviometria registrada apenas no evento chuvoso em que foi deflagrada a ocorrência de escorregamento. Existe, contudo, uma tendência que vem se firmando em nível mundial e nacional, que tenta fixar os valores de pluviometria horária (mm/h) e de pluviometria diária (mm/24h) e variar as correspondentes acumuladas pluviométricas em 24h, 48h, 72h e 96h para se obter uma melhor configuração na curva (*threshold*) que separa a pluviometria com e sem ocorrência de escorregamento associada. Esta tendência é fruto, provavelmente, da disponibilidade dos registros pluviométricos necessários para a pesquisa que, até os anos 1990 eram, em sua maioria, provenientes de estações convencionais e discretizados em intervalos de 1h e/ou de 24h. Assim, as correlações com os valores acima citados se tornavam de mais fácil execução. Com a disseminação das estações automáticas, a coleta de registros pode ser reduzida a intervalos mínimos, de - se necessário - até 1 minuto. Com o desenvolvimento das planilhas eletrônicas (do tipo Excel), as diversas tentativas de correlação se tornaram muito menos onerosas em termos de tempo e de dificuldade. É possível que, no futuro próximo, quando o volume

de registros discretizados em intervalos de tempo muito pequeno seja grande o suficiente para permitir o desenvolvimento das correlações, estas possam utilizar valores temporais muito fracionados. Obviamente, sempre os estudos demandarão boa qualidade nas informações referentes às ocorrências de escorregamentos, destacando-se o horário e a tipologia do processo de instabilização propriamente dito. Para monitoramento do risco associado a deslizamento nas encostas, o Sistema Alerta Rio da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro (D'ORSI et al., 1997) adotou o intervalo de 15 minutos para a coleta de registros pluviométricos a cada 15 minutos e, desde 1997 vem conseguindo boas correlações com a pluviometria em 1 hora, 24h e 96h.

No presente estudo, em função da disponibilidade de registros pluviométricos, foram testadas as diversas combinações possíveis entre as pluviometrias acumuladas em 1h, 12h, 24h, 48h, 72h e 96h. Cabe acrescentar que, para as acumuladas pluviométricas relativas a 1 hora (mm/h), adotou-se a terminologia “intensidade pluviométrica” por se tratar do menor intervalo de tempo de coleta de registros pluviométricos utilizado na presente Tese. A Tabela 3.5 mostra as diversas combinações de acumuladas pluviométricas testadas.

Ainda durante os testes das possíveis combinações entre acumuladas pluviométricas, foram estudadas as influências da inclusão na intensidade pluviométrica referente à última hora antes da ocorrência na acumulada pluviométrica. Esta questão é melhor entendida através das Figuras 3.4 e 3.5. A conclusão do autor sobre esta análise é que a inclusão da intensidade pluviométrica na última hora antes do evento, embora adotada por (D'ORSI et al., 1997), não traz, realmente, nenhum benefício a análise e causa uma certa distorção no gráfico de correlação, criando uma área livre no gráfico, onde não existe possibilidade matemática de existência de um par de registros pluviométricos. Por tais motivos, foi aqui adotada a variante referente a não inclusão da intensidade pluviométrica na última hora antes do evento.

Tabela 3.5 – Combinações entre acumuladas pluviométricas testadas objetivando determinar a curva de melhor ajuste (*threshold*) que limita os campos das chuvas com e sem ocorrências de escorregamentos.

Pluviometria acumulada	mm/1h	mm/12h	mm/24h	mm/48h	mm/72h	mm/96h
mm/1h	-	1h x 12h	1h x 24h	1h x 48h	1h x 72h	1h x 96h
mm/12h	-	-	12h x 24h	12h x 48h	12h x 72h	12h x 96h
mm/24h	-	-	-	24h x 48h	24h x 72h	24h x 96h
mm/48h	-	-	-	-	48h x 72h	48h x 96h
mm/72h	-	-	-	-	-	72h x 96h
mm/96h	-	-	-	-	-	-

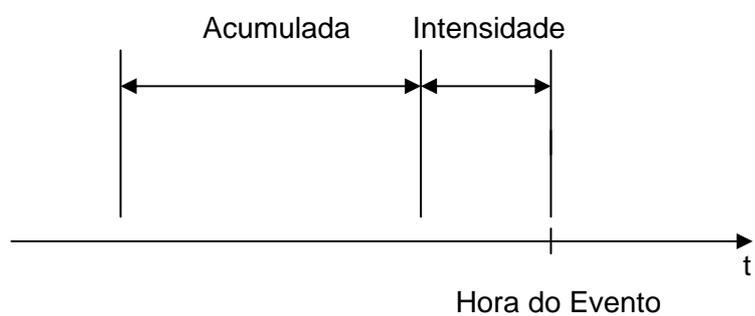


Figura 3.4 – Linha de tempo mostrando a não sobreposição (não inclusão) entre Intensidade e a Acumulada

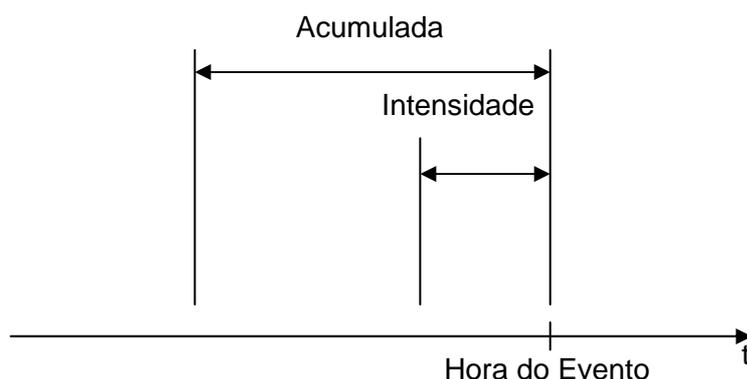


Figura 3.5 - Linha de tempo mostrando a sobreposição entre Intensidade e a Acumulada, causando distorção no gráfico final, conforme exemplificado na figura 2.19.

3.4 Elaboração dos Gráficos

Para a elaboração dos gráficos de correlação foram utilizadas planilhas eletrônicas do programa Microsoft Excel 2010. Os pares de dados pluviométricos provenientes das combinações apresentadas na Tabela 3.5 foram agrupados em categorias formadas com base, principalmente, na classificação de eventos apresentada na Tabela 5.1, na definição das ocorrências circunstanciais e nas ocorrências de eventos pluviométricos sem registros de ocorrências (de escorregamentos), que foram denominados na legenda dos gráficos, simplesmente por “chuvas”. Cabe ressaltar que, durante a realização dos estudos, versões preliminares dos resultados das correlações entre chuvas e escorregamentos foram apresentados em reuniões ocorridas entre a COPPE-UFRJ e a CRT e, face a proximidade da estação chuvosa, os valores pluviométricos críticos foram utilizados pela Concessionária em três ocasiões para o fechamento preventivo da Via. As pluviometrias registradas nos momentos dos fechamentos preventivos (FP) da Via também foram incluídas nos gráficos, embora nenhum acidente geológico (escorregamento) tenha sido registrado naquelas ocasiões. Assim sendo, a legenda do gráfico de correlação que apresentou os melhores resultados, ou seja, entre mm/h e mm/24h, incluiu:

- “Chuvas sem registros de ocorrência” - Par pluviométrico sem registro de ocorrência de chuvas. Neste caso, cada Evento Pluviométrico gerou dois pontos no gráfico: o par pluviométrico correspondente momento em que foi verificado a maior intensidade pluviométrica e o par pluviométrico correspondente a acumulada pluviométrica total no momento considerado como fim do Evento.
- “Chuvas do dia 12/01/2011” – Como já mencionado na seção 4.3 do capítulo 4, existiram alguns eventos pluviométricos de grande intensidade próximos à área de estudo, o mais importante deles foi especificado separadamente nos gráficos (Evento pluviométrico de 10 a 13/01/2011 na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro).
- Máxima intensidade horária em 12/01/2011 - Uma linha tracejada relativa a pluviometria de 108mm/h que foi a maior intensidade horária registrada em um pluviógrafo móvel da CRT, instalado no km 75 da BR 116 RJ no dia 12/01/2011. O local, embora fora da área de interesse da Tese, situa-se muito próximo desta área e caso tivesse sido registrado sobre esta área, certamente teria desencadeado inúmeros escorregamentos, conforme se observou na região no entorno do km 75.
- Eventos Simples - Pares pluviométricos relativos aos momentos dos registros de ocorrências dos Eventos Simples, de acordo com a Tabela 5.1.
- Eventos Importantes - Pares pluviométricos relativos aos momentos dos registros de ocorrências dos Eventos Importantes, de acordo com a Tabela 5.1.
- Eventos Muito Importantes - Pares pluviométricos relativos aos momentos dos registros de ocorrências dos Eventos Muito Importantes, de acordo com a Tabela 5.1.
- FP – Momento do Fechamento Preventivo da Via pela CRT.
- Ocorrências Circunstanciais Simples - Pares pluviométricos relativos aos momentos dos registros de Ocorrências Circunstâncias, em que as consequências foram consideradas como Simples, de acordo com a Tabela 5.1.
- Ocorrências Circunstanciais Importantes - Pares pluviométricos relativos aos momentos dos registros de Ocorrências Circunstâncias, em que as consequências foram consideradas como Importantes, de acordo com a Tabela 5.1.

- Linha de Tendência: Linha divisória entre a região do gráfico em que predominam expressivamente as ocorrências de Eventos Importantes e Muito Importantes. Trata-se do *threshold* adotado no presente estudo.

Para a construção da Linha de Tendência, foi necessário, inicialmente, que ela fosse traçada manualmente de modo a se obter o melhor ajuste possível, ou seja, tangenciando o maior número de par de pontos pluviométricos referentes a Eventos Importantes e Muito Importantes que apresentassem os valores mais baixos e, ao mesmo tempo, evitando-se o maior número de par de pontos pluviométricos referentes às “chuvas” sem registros de ocorrências associados. Uma vez estabelecida este “threshold” manual, uma nova curva foi construída digitalmente, utilizando-se pontos extraídos do “threshold” manual. Quanto maior o número de pontos utilizados no “threshold” digital, mais este se aproximava da forma do “threshold” manual. No presente caso, uma boa aproximação dos dois “thresholds” começou a ocorrer a partir utilização de 150 pares de pontos pluviométricos. Uma vez definida digitalmente a Linha de Tendência, interagiu-se com o programa (Microsoft Excel) até a obtenção da equação da curva. As figuras 3.6 até 3.9 exemplificam o processo.

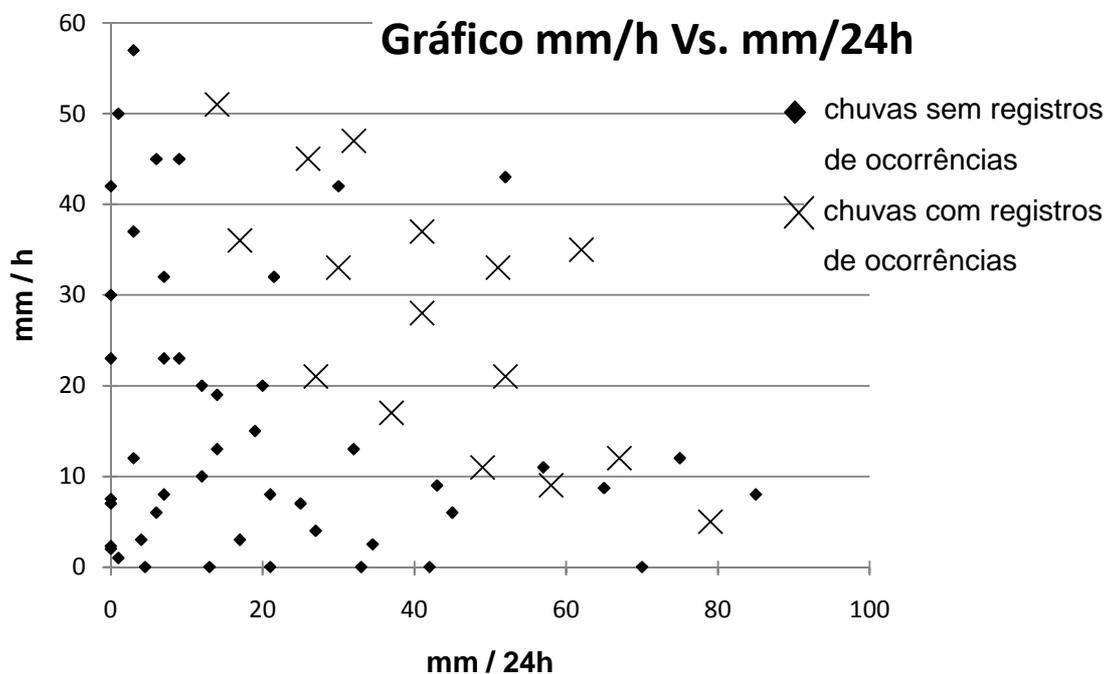


Figura 3.6 – 1ª etapa na construção da linha de tendências. Através de pares pluviométricos plotar “Eventos” e “Chuvas” nos gráficos.

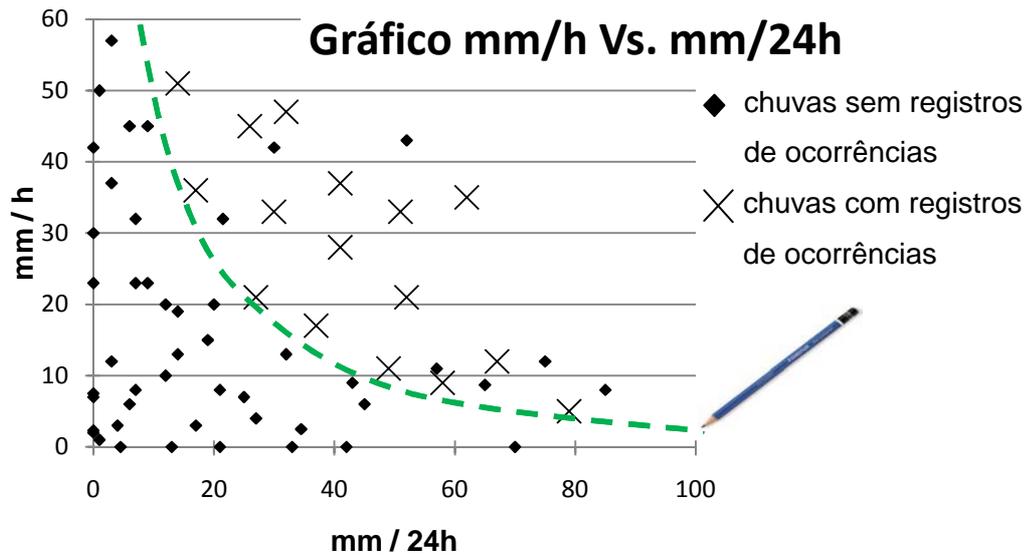


Figura 3.7 – 2ª etapa na construção da linha de tendências. Traçar um “threshold” manual de forma a tangenciar os pontos de eventos e evitar os pontos de chuva.

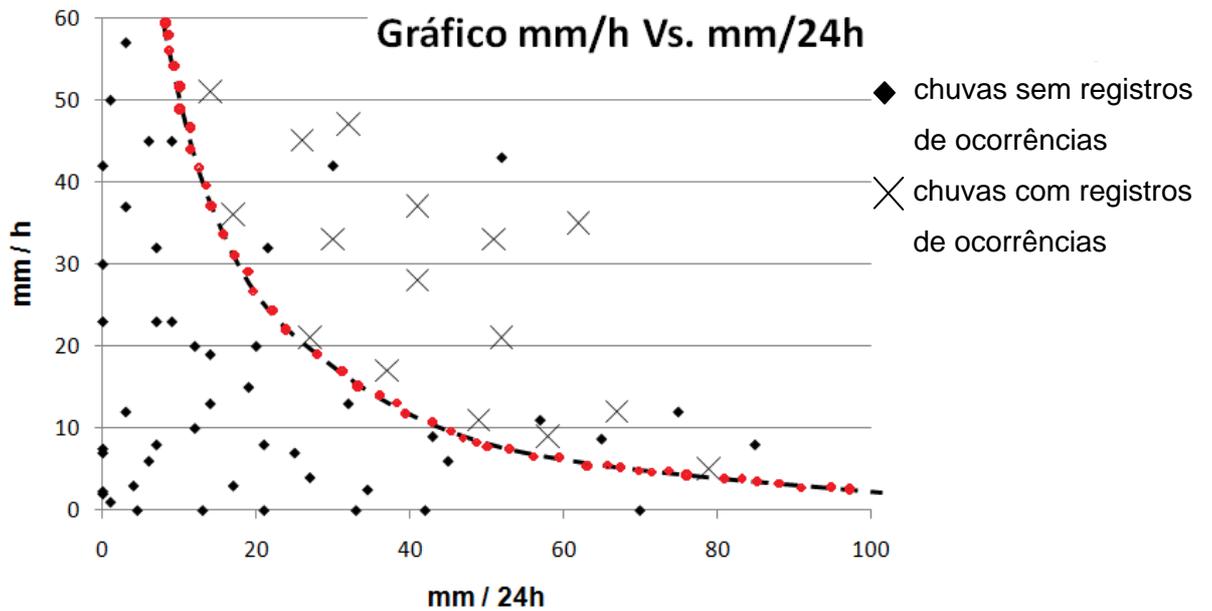


Figura 3.8 – 3ª etapa na construção da linha de tendências. Plotar pontos no gráfico em cima da “threshold” manual.

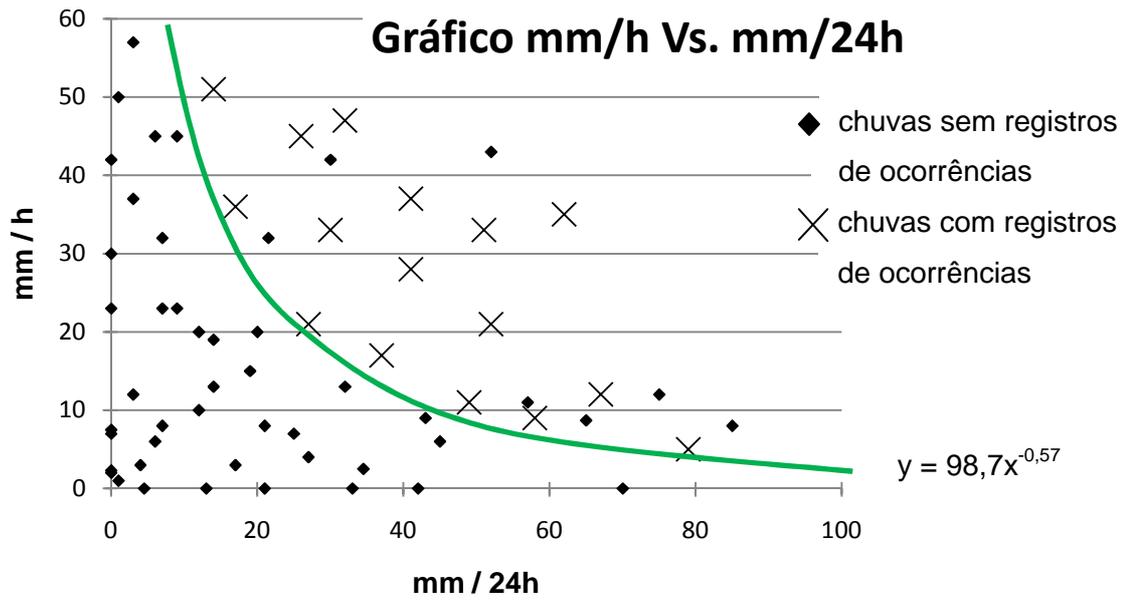


Figura 3.9 – 4ª etapa na construção da linha de tendências. Usar um software (Microsoft Excel) para calcular a equação da curva.

CAPÍTULO 4

PLUVIOMETRIA NA ÁREA DE ESTUDO

4.1 - Origem e Qualidade dos Registros Pluviométricos

Embora intuitivo e até um pouco óbvio, todo pesquisador que utiliza registros pluviométricos em estudos de correlação sempre considerou verdadeira a hipótese de que quanto mais próxima estiver a estação pluviométrica de sua área de interesse, mais confiável será o dado utilizado, no sentido de exprimir o real volume de chuva que deflagrou a ocorrência. Porém foi apenas nas últimas duas décadas que esta hipótese pode ser realmente comprovada em função do surgimento de redes pluviométricas de alta densidade. Neste contexto, destacam-se as redes telemétricas de pluviométricas automáticas do Royal Observatory na Cidade de Hong Kong - com 62 telepluviômetros desde 1983 (LEE, 1984) (e 80 em 2011) e do Sistema Alerta Rio na Cidade do Rio de Janeiro – com 32 telepluviômetros desde 1997 (D'ORSI *et al.*, 2004) (33 em 2011). Estas redes possuem algumas estações que distam, entre si, menos de 3.000m (Figuras 4.1 e 4.2), e que já coletam registros pluviométricos, em intervalos de 15 minutos, com significativas diferenças de intensidades pluviométricas em 1 hora para um mesmo horário, durante evento de chuva intensa.

Não obstante tamanha variabilidade da intensidade pluviométrica no espaço, estudos de correlação utilizando registros de pluviômetros que distam até algumas dezenas de quilômetros da área de interesse são comuns e bem aceitos no meio técnico-acadêmico. Isto porque, pelo menos até a década de 1980, em especial no Brasil, registros pluviométricos de boa qualidade constituíram dados de difícil aquisição. Em seu artigo “Ensaio de Correlação entre Pluviosidade e Escorregamento em meio tropical úmido” GUIDICINI e IWASA (1976) teceram os seguintes comentários sobre a qualidade dos registros pluviométricos na região sudeste do Brasil: “A expansão da rede de estações prosseguiu até nossos dias, mas de maneira bastante lenta, podendo ser considerada, de forma global, como pobre. Predominam os pluviômetros sendo raros os pluviógrafos, pois estes exigem custos iniciais mais elevados e manutenção bastante delicada. Os pluviômetros apresentam, como principal limitação, a impossibilidade de determinação da distribuição da intensidade

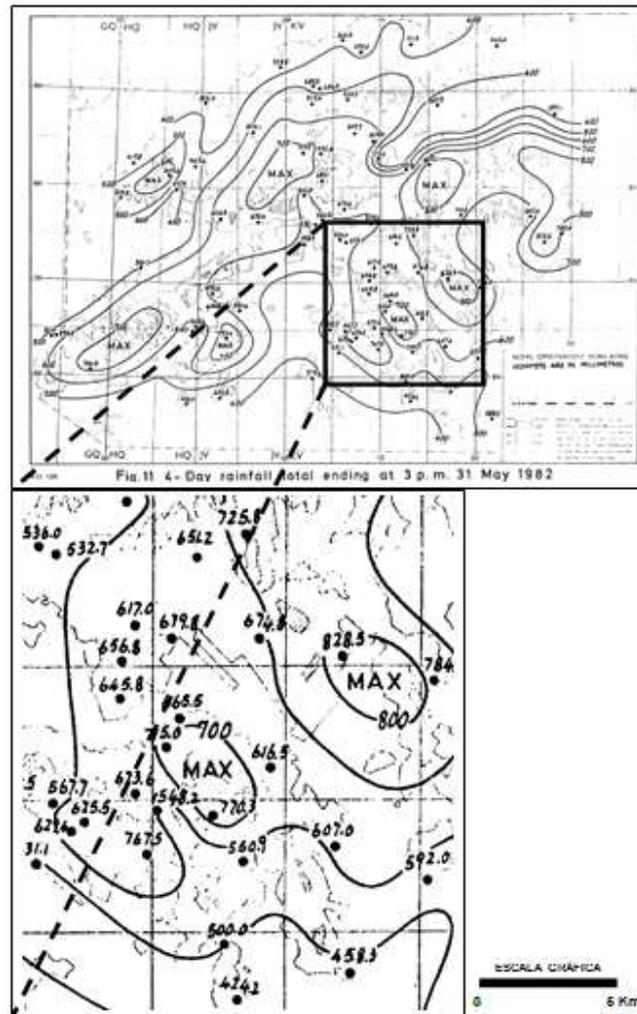


Figura 4.1 - Distribuição (geral e detalhe) de estações pluviométrica (ponto pretos) pertencentes ao Royal Observatory na Cidade de Hong Kong (LEE, 1984).



Figura 4.2 - Distribuição de telepluviômetros do Sistema Alerta Rio, na Cidade do Rio de Janeiro (<http://www0.rio.rj.gov.br/alertario>)

das chuvas. Neles, as leituras são realizadas a cada 24 horas, fornecendo assim o total registrado no período. Tais leituras são feitas, via de regra, por pessoa que more nas redondezas do local de instalação do aparelho, designada para este fim pela entidade dona do aparelho. As leituras estão, assim, sujeitas aos percalços que porventura apareçam na vida deste operador. Durante a realização dos trabalhos de análise dos registros, foram encontrados casos em que os pluviômetros deixaram de ser lidos por períodos superiores a 4 meses, por se encontrar o operador de licença médica, sem que pudesse ser substituído.” Cabe aqui acrescentar, que o relato daqueles autores é impressionantemente adequado à situação encontrada nas Estações Pluviométricas que ficavam mais próximas da área de interesse do presente estudo, principalmente para o período entre 1980 e 2006 em que ocorreram a maioria dos eventos chuvosos que deflagram os escorregamentos no trecho da Serra dos Órgãos da BR 116. Estas duas Estações, ambas pertencente ao INMET, são a Estação Parque Nacional de Teresópolis – Nº 83806, instalada em 1943, junto a sede do Parque Nacional de Teresópolis (distando menos de 2km do Km 90 da BR 116 RJ) e a Estação Teresópolis – Nº 83744, instalada em 1961, no centro da Cidade homônima, distante cerca de 4 km da sede do Parque Nacional de Teresópolis. Cabe esclarecer que, em alguns documentos, a Estação Parque Nacional de Teresópolis – Nº 83806 é denominada *Estação Parque Nacional da Serra dos Órgãos*. Esta confusão se deve ao fato de que o *Parque Nacional de Teresópolis* é, na verdade, uma restrita área do abrangente Parque Nacional da Serra dos Órgãos (PARNASO). O Parque Nacional de Teresópolis situa-se em Teresópolis (RJ) e sua área dispõe de uma importante infraestrutura do PARNASO (sede administrativa, centro de visitantes, etc.). No início do ano de 1981 a Estação Parque Nacional de Teresópolis – Nº 83806 (Tabela 4.3) foi desativada e no ano de 2006 uma estação meteorológica automática foi instalada no Parque Nacional de Teresópolis, em um novo sítio meteorológico, distante poucas centenas de metros do antigo sítio da Estação Parque Nacional de Teresópolis. Esta estação automática recebeu o nome de Estação Teresópolis – A 618 (Figuras 4.3 e 4.4). Pelo menos até o final do ano de 2005 a Estação Teresópolis – Nº 83744 ficou operacional e seus registros pluviométricos, até aquele ano, puderam ser utilizados na ausência de outros mais próximos à Rodovia BR 116 RJ. As fichas cadastrais das Estações Teresópolis Nº 83744 e Estação Teresópolis – A 618 são apresentadas nas Tabelas 4.1 e 4.2. As Tabelas 4.5 a 4.10 apresentam valores pluviométricos das estações Teresópolis - Nº 83744 e Parque Nacional de Teresópolis – Nº 83806, resunindo, ano a ano, registros mensais referentes ao Total de Chuvas, aos Números de Dias com Chuva e às Chuvas Máxima em 24 horas.

A partir do ano de 2006 este o volume e a precisão dos registros pluviométricos começaram a apresentar importantes mudanças para melhor. Em dezembro daquele ano, a Estação Teresópolis – A 618 passou a coletar registros em intervalos regulares de 1 hora e disponibilizá-los em site do INMET na Internet. A partir do segundo semestre de 2007, a Concessionária Rio Teresópolis (CRT) começou a implementar, mais intensamente, o processo de instalação de uma rede telepluviométrica ao longo da BR 116, de modo a cobrir os 142,5 km da qual é responsável, com especial atenção ao Trecho da Serra. Assim, em março de 2011 já haviam sido instalados estações pluviométricas em 6 pontos da Estrada, 2 dos quais a Estação KM 90 (Figura 4.5 e Tabela 4.5) e a Estação Garrafão (Tabela 4.4), no Km 94,7 (Figuras 4.6 e 4.7), localizados ao lado da pista de rolamento, dentro do trecho da via com interesse direto ao presente estudo. Os pluviômetros utilizados nas estações da CRT são do tipo balsa (tipping bucket), sendo o valor da caçamba igual a 0,2mm, menor intervalo de registro de 15 minutos e transmissão de dados por fibra ótica ou por GPRS.

Tabela 4.1 - Ficha técnica da Estação A618 – INMET.

Estação:	Teresópolis - A618		
Local:	Sede do Parque Nacional da Serra dos Órgãos em Teresópolis RJ		
Latitude:	22° 26" 56' S	Altitude (m):	980
Longitude:	42° 59" 14' O		
Obs.:	Operacional a partir de 01/11/2006 – Estação automática (Vaisala), envia eus registros, a cada hora, para o website na Internet < http://www.inmet.gov.br/sonabra/maps/automaticas.php >		

Tabela 4.2 - Ficha técnica da Estação 83744 – INMET.

Estação:	Teresópolis Centro - 83744		
Local:	Centro da Cidade de Teresópolis		
Latitude:	22° 24' S	Altitude (m):	875
Longitude:	42° 59' O		
Obs.:	Apenas parte das informações desta estação durante sua vida útil foram usadas nesta tese. Da década de 60 até fins dos anos 90.		

Tabela 4.3 - Ficha técnica da Estação 83806– INMET.

Estação:	Parque Nacional de Teresópolis - 83806		
Local:	Sede do Parque Nacional da Serra dos Órgãos em Teresópolis RJ ("Parque Nacional de Teresópolis")		
Latitude:	22° 27" S	Altitude (m):	959
Longitude:	42° 56" O		
Obs.:	Operacional de 1943 a 1980.		

Tabela 4.4 – Ficha Técnica da Estação Garrafão.

Estação:	Garrafão		
Local:	BR 116 km 94 (Posto Garrafão)		
Latitude:	22°27'58.65" S	Altitude (m):	645
Longitude:	42°59'51.32" O		
Obs.:	Tipo Hidromec		

Tabela 4.5 – Ficha Técnica da Estação CRT km 90.

Estação:	CRT km 90		
Local:	BR 116 km 89 (Alto do Soberbo)		
Latitude:	22°27'50.75" S	Altitude (m):	900
Longitude:	42°59'28.07" O		
Obs.:	Tipo Hidromec		

Tabela 4.6 – Resumo dos valores pluviométrico referentes ao Total de Chuva na estação Teresópolis (83744), nos anos de 1961 a 2005 (INMET, 2006).

Total de Chuva (mm)												
Estação: Teresópolis		Nº 83744			UF: RJ			PERÍODO: 1961 a 2005				
Ano	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1961										13,2	129,0	272,8
1962	261,4	369,3	103,7	66,4	49,5	21,6	25,5	25,2	65,9	166,9	269,4	359,7
1963	148,4	214,5										
1964						23,8	74,5	20,1	40,3	133,1	184,4	318,2
1965		234,1	184,1	134,0	118,5			15,1	29,2	169,4	225,9	211,7
1966	438,5	170,9	332,3	161,9	68,4	8,5	50,3	58,1	55,8	171,4	339,2	534,4
1967		196,8	213,2	107,7	38,4	61,3	47,1	2,5	27,4	153,2	247,0	319,3
1968	176,5	301,6	245,7	72,1	29,7	22,8	60,9	63,0	65,3	105,1	97,0	
1969	327,2	159,7	246,9	73,8	19,5	51,4	49,8	82,0	40,6	148,6		261,7
1970	149,3		127,4	123,7	30,2	33,8	42,1	134,4	71,1	186,0	178,6	121,9
1971	113,2	207,4	113,8	47,6	90,1	106,7	34,3	105,9	85,0	172,9	324,8	298,8
1972	217,1	310,9	224,3	123,7	31,7	0,6	76,2	70,0	68,6	161,8	269,2	341,0
1973	308,9	253,4	145,7	194,7	65,5	22,5	46,4	20,3	120,1	257,2	245,1	295,6
1974	323,4	67,3	253,5	132,1	42,1	88,2	0,0	5,3	25,9	208,5	79,3	307,9
1975	476,9	191,5	190,0	89,6	85,1	44,4	56,1	7,8	60,2	203,2	354,7	233,7
1976	218,9	135,7	199,0	30,4	63,5	45,0	31,5	100,4	173,8	200,3	196,3	344,3
1977	477,5	33,6	79,4	156,1	26,6	9,4				54,2	332,6	314,8
1978	260,8	172,3	188,5		101,4	13,3		53,9	46,6	177,7	371,6	188,7
1979	291,2	421,5	154,0	120,5	68,7	38,5	50,3	57,3	133,8			277,3
1980	349,7	96,6	53,6	142,3	13,7	26,9			40,4	136,7	156,5	444,2
1981	262,4			172,0	25,0	25,3	49,9	39,1	17,1	165,0	239,8	
1982	410,2	106,8		100,1	21,3	59,5		107,0	79,7	255,4	129,2	333,2
1983	330,2	156,2				233,7	52,5	6,4	347,2	149,2	193,8	226,3
1984	123,0	33,2	217,5	102,7	64,0	2,5	24,8	66,8	40,5	79,4	123,2	180,0
1985	382,2	227,5	216,8	143,3	65,4	26,8	14,4	46,2	105,4	52,4	210,1	282,6
1986	290,0	191,0	187,0	111,5	39,2	23,7	111,0		105,0	33,9	130,4	354,7
1987	232,5	181,1		133,8	83,5							
1988												
1989												
1990												
1991												
1992			46,0	102,5	49,8	9,8	29,0		242,8	136,3	366,5	212,0
1993	346,9	133,9	290,0	104,3	22,0	40,4	2,9	12,7	165,6	72,3	144,6	
1994	365,2	57,2	373,7	208,2	235,4	57,7	16,0	11,0	31,9	110,4	241,9	
1995	325,6	136,3	56,5	88,3	49,4	28,5	25,7	6,1		174,5	227,8	326,1
1996	207,6	199,6	207,5	81,0	50,7	33,6	11,8					
1997				35,8	85,0	33,0	8,0	22,2	75,2	90,3	208,0	196,2
1998	193,3	330,5	69,3	81,0	99,5	21,3	15,8	44,2	39,6	158,1	213,2	245,6
1999		103,3	182,3	52,5	39,4	64,3	27,9	14,3	76,7	49,4	192,3	451,4
2000		114,6	160,4	87,3	40,3	0,2	94,1	114,6	113,6	86,8	198,1	245,0
2001	289,8	216,9	184,0	190,3	73,3	2,3	18,9	7,7	73,4	91,5	151,6	422,2
2002	308,3	202,0	148,4	116,8	70,4	6,5	35,0	24,8	124,8	54,8	282,1	508,0
2003	323,5	49,5	193,8	52,2	95,6	35,0	31,6	66,3	43,6	177,7	351,1	164,0
2004	227,4	340,4	154,8	106,8	70,8	38,5	118,7	10,4	13,0	122,2	238,1	311,3
2005	413,6	279,1	243,1	94,5	57,2	78,1	72,4	3,3	51,8	52,5	226,5	327,6
2006												
2007												
2008												
2009												
2010												
Total	9571,0	6588,2	6008,2	3943,5	2247,6	1436,4	1405,4	1426,4	2916,9	4953,6	8089,1	10232,0
...n	33	35	33	36	37	37	33	33	35	37	36	34
Média	290,0	188,5	182,1	109,5	68,8	38,9	42,6	43,2	63,4	133,9	224,7	300,8
Máxima	477,5	421,5	373,7	208,2	235,4	233,7	118,7	134,4	347,2	257,2	371,6	634,4
Mínima	113,2	33,2	46,0	30,4	13,7	0,2	0,0	2,5	13,0	13,2	79,3	121,9

Tabela 4.7 – Resumo dos valores pluviométrico referentes ao Total de Chuva na estação Parque Nacional Teresópolis (83806), nos anos de 1943 a 1980 (INMET, 2006).

Total de Chuva (mm)												
Estação: P.Nac.Teresópolis		N° 83806		UF: RJ		PERÍODO: 1943 a 1980						
Ano	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1943						179,6	25,1	251,8	148,2	416,5	257,4	498,9
1944	292,0	545,3	344,9	182,2	180,6	92,2	113,9	61,2	39,4	125,7	289,2	374,8
1945	572,5	276,0	443,4	223,9	121,6	162,8	133,4	30,7	187,7	137,2	433,3	446,3
1946	362,6	226,8	547,1	241,4	153,3	76,9	60,2	56,1	193,4	428,2	737,3	407,5
1947	405,5	401,3	524,2	201,3	111,7	91,3	126,8	198,0	192,7	312,9	370,0	746,8
1948	166,5	564,2	486,4	137,5	192,5	52,2	133,9	137,7	110,4	243,7	549,6	494,1
1949	497,8	314,9	129,3	158,8	107,0	183,4	259,1	228,8	144,1	369,0	438,8	364,8
1950	584,2	234,6	259,6	316,4	145,6	46,0	24,7	29,3	83,7	169,7	354,8	307,5
1951	427,3	419,1	532,7	236,9	89,4	35,7	111,2	78,6	38,5	189,2	235,5	534,5
1952	538,6	648,5	336,2	101,8	60,9	79,7	186,8	211,3	216,3	196,5	270,1	420,5
1953	192,3	405,2	249,4	358,4	138,6	40,7	22,5	116,1	150,4	168,0	507,9	617,5
1954	72,4	208,3	250,5	174,2	194,8	34,6	91,3	194,5	119,5	182,0	124,6	273,3
1955	-419,3	50,9	204,2	341,2	113,5	83,7	9,6	31,0	142,5	200,8	414,5	-474,0
1956	111,3	198,9	330,2	279,4	153,9	126,6	58,2	200,1	80,0	188,2	450,5	377,9
1957	312,7	301,5	404,3	497,4	75,5	136,2	72,0	65,5	229,2	109,9	275,6	570,6
1958	150,0	224,1	231,7	389,7	249,9	132,3	58,0	63,3	228,9	183,7	434,7	424,1
1959	141,1	65,8	279,8							72,4	123,1	217,2
1960	436,5	358,9	531,2	116,5	152,0	112,3	141,6	235,0	127,7	298,0	363,7	310,7
1961	868,9	397,2	709,2	244,5	145,7	135,1	151,8	10,2	79,6	21,2	136,5	423,0
1962	507,5	494,2	110,1	126,7	108,2	73,5	123,2	48,7	183,5	228,3	340,4	
1963	282,1	327,9	85,7	155,1	154,8	32,9	64,4	62,7		89,1	197,8	218,3
1964	429,3	556,6	296,9	172,9	183,4	92,6		105,2	87,9	250,8	322,6	590,5
1965	462,7	379,5	256,8	257,8	177,5	15,6	58,7	93,4	120,8	407,5		352,6
1966	554,5	185,7	452,2	332,4	119,0	40,3	107,2	154,4	128,5		508,2	548,0
1967	555,7	274,8	306,9	283,3	71,1		137,9	33,7	116,1	211,4	337,6	571,0
1968	240,9	536,7	377,4	232,2	113,2	62,2	111,8	133,4	130,9	152,7	211,5	382,4
1969	355,7	271,9	397,8	180,3	67,9	97,1	95,5	158,3	64,1	267,2	324,7	484,8
1970	296,8	86,0	180,6	183,8	67,1	89,6	103,8	120,6	181,2	314,8	365,1	194,8
1971	174,3	381,8	141,4	245,9	191,0	102,4	11,4	238,7	164,5	293,4	595,6	535,1
1972	193,5	383,6	311,0	218,7	55,6	12,8	93,6	138,4	165,1	291,8	522,4	341,3
1973	503,0	445,2	334,4	351,3	102,6	39,2	70,3	64,4	275,0	371,9	470,1	322,6
1974	367,5	109,3	200,5	246,9	60,7	138,9	5,0	39,5	96,6	288,5	229,9	502,0
1975	557,8	296,4	291,6	146,5	190,6	120,5	70,4	18,0	180,8	309,0	460,3	234,5
1976	269,1	321,1	316,5	84,1	157,0	72,8	103,1	195,3	267,7	338,4	225,6	586,3
1977	452,7	32,5	141,8	353,8	54,6	26,9		84,3	191,9	125,9	475,3	494,8
1978	381,4	369,5	197,3	332,6	152,1	47,8		75,6	52,2			
1979												
1980	385,1	174,2	60,3	265,5	18,2	45,5			95,6	270,8	328,5	573,3
Total	13641,1	11450,1	11253,5	8383,3	4431,4	2911,7	2036,4	3963,8	5024,6	8220,3	12684,7	15217,1
n	36	36	36	36	35	35	32	35	35	35	35	35
Média	378,9	318,1	312,6	239,5	126,6	83,2	91,8	113,3	143,6	234,9	362,4	434,6
Máxima	968,9	648,5	709,2	497,4	249,9	183,4	259,1	251,8	275,0	428,2	737,3	746,8
Mínimo	72,4	32,5	60,3	84,1	18,2	12,8	5,0	10,2	38,5	21,2	123,1	194,8

Tabela 4.8 – Resumo dos valores pluviométrico referentes a Chuva Máxima em 24 horas na estação Teresópolis (83744), nos anos de 1961 a 2005 (INMET, 2006).

Chuva Máxima em 24 horas (mm)												
ESTAÇÃO : Teresópolis		Nº 83744		UF : RJ		PERÍODO: 1961 a 2005						
Ano	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1961												
1962	66,2	73,5	28,3	36,2	13,4	10,7	13,8	25,2	34,4	3,8	45,6	73,2
1963	37,3	46,2								66,1	73,6	74,6
1964						8,7	20,6	7,3	31,7	28,2	57,2	52,3
1965		43,8	48,2	71,2	55,0			6,8	8,8	55,6	42,7	37,4
1966	87,4	65,7	134,1	35,6	17,6	4,8	14,2	25,2	28,6	36,0	61,9	70,5
1967		67,1	35,4	24,1	21,6	14,6	17,8	1,8	10,0	63,7	46,7	40,3
1968	44,7	87,2	67,4	23,1	11,6	10,9	19,6	23,4	24,9	16,4	36,2	
1969	58,7	46,6	28,6	20,5	8,8	11,1	25,3	42,9	28,0	24,7		43,4
1970	42,1		65,7	46,0	11,5	12,3	14,9	39,4	18,5	62,4	43,0	29,6
1971	24,1	62,4	38,8	23,1	39,5	45,8	18,2	38,8	38,8	27,2	62,1	62,6
1972	31,9	53,2	73,4	35,2	16,5	0,6	36,6	23,6	30,5	39,2	77,4	107,3
1973	51,0	59,6	38,9	68,0	35,1	13,2	19,0	8,9	34,0	52,4	50,0	58,0
1974	49,1	19,9	73,7	38,0	21,0	20,4	0,0	2,7	17,8	44,6	26,8	68,2
1975	52,6	31,2	80,4	31,0	16,2	28,4	20,8	3,1	21,9	29,2	134,0	72,4
1976	58,5	58,6	49,8	7,4	20,6	24,6	8,3	30,9	35,0	48,4	42,0	41,8
1977	140,8	9,6	17,2	64,0	11,0	2,5				13,5	68,8	63,1
1978	98,3	35,8	71,2		37,0	7,6		20,8	17,6	40,0	115,0	27,8
1979	56,6	140,0	25,0	36,2	15,5	10,7	12,6	18,6	26,5			80,0
1980	33,0	20,0	15,0	60,0	7,0	11,5			11,2	45,3	45,6	71,5
1981	37,2			86,2	23,2	9,5	29,6	12,4	11,2	53,4	32,2	
1982	68,8	26,0		36,4	7,7	21,4		41,0	60,5	52,6	28,5	52,7
1983	44,1	42,6				53,8	40,5	2,0	55,3	29,6	28,3	37,1
1984	31,6	7,4	75,3	40,9	26,4	1,2	20,2	26,6	13,2	25,1	19,1	22,1
1985	54,7	46,8	57,6	43,6	23,9	12,7	9,8	29,4	29,9	16,1	67,5	48,0
1986	52,2	34,7	58,8	38,0	13,2	14,7	61,9		44,4	13,8	46,0	53,7
1987	58,5	48,9		48,0	38,8							
1988												
1989												
1990												
1991												
1992			18,0	31,0	10,5	8,0	7,7		57,6	71,2	105,0	57,0
1993	28,3	42,0	134,0	21,5	4,9	14,4	0,8	6,4	42,6	23,0	59,0	
1994	89,8	18,8	99,0	77,0	127,4	22,6	5,4	6,0	13,2	31,4	88,2	
1995	104,2	29,0	15,9	35,8	21,6	22,8	12,8	3,6		29,3	25,8	48,8
1996	58,0	33,9	37,0	24,6	16,8	14,0	4,8					
1997				14,6	17,6	10,5	7,0	10,9	32,0	18,3	60,0	48,0
1998	66,2	105,3	26,2	37,2	51,6	12,0	6,0	11,9	13,0	24,0	53,0	63,4
1999		21,9	25,3	21,8	26,2	18,3	6,5	4,5	30,8	17,2	42,5	78,7
2000		44,5	51,2	38,5	17,8	0,2	28,0	39,6	62,8	37,0	32,3	40,1
2001	61,8	47,8	64,5	124,0	28,6	2,1	5,6	3,9	31,0	23,0	44,9	121,0
2002	72,0	36,0	48,6	57,6	31,6	3,5	17,8	8,9	28,2	27,7	98,8	145,4
2003	56,2	16,8	46,7	19,6	37,1	35,0	9,6	25,4	26,0	51,0	80,8	41,2
2004	47,0	70,8	46,6	18,0	45,4	29,6	27,6	5,2	6,7	30,5	72,4	55,8
2005	76,4	63,2	77,0	18,2	29,8	48,6	15,6	2,8	15,4	24,5	52,0	54,7
2006												
2007												
2008												
2009												
2010												
Total	1975,3	1658,8	1774,8	1452,1	959,0	593,3	558,9	559,7	992,0	1295,4	2084,9	2039,7
n	33	35	33	36	37	37	33	33	35	37	36	34
Média	59,9	47,4	53,8	40,3	25,9	16,0	16,9	17,0	28,3	35,0	57,4	60,0
S	24,5343	27,0347	29,8911	23,4171	21,2246	13,0227	12,6129	13,5017	14,9059	16,7541	26,3470	25,6152
Máximo	140,8	140,0	134,1	124,0	127,4	53,8	61,9	42,9	62,8	71,2	134,0	145,4
Mínimo	24,1	7,4	15,0	7,4	4,9	0,2	0,0	1,8	6,7	3,8	19,1	22,1

Tabela 4.9 – Resumo dos valores pluviométrico referentes a Chuvas Máxima em 24 horas na estação Parque Nacional Teresópolis (83806), nos anos de 1943 a 1980 (INMET, 2006).

Chuva Máxima em 24 horas (mm)												
ESTACÃO	P.Nac.Teresópolis		Nº 83806		UF : RJ		PERÍODO: 1943 a 1980					
Ano	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1943						32,0	14,6	46,8	38,9	157,8	64,9	70,0
1944	65,5	91,5	78,6	40,5	68,8	56,6	37,0	29,6	15,3	45,1	76,6	60,0
1945	89,1	59,3	61,9	58,8	23,8	61,6	56,5	18,4	46,9	44,4	92,3	62,7
1946	63,6	97,1	103,1	57,0	89,1	35,8	24,0	38,3	132,8	93,9	148,4	68,0
1947	90,9	55,9	79,7	44,1	28,5	45,6	48,9	44,2	72,3	71,8	149,3	100,7
1948	32,9	104,0	79,2	70,7	89,6	22,4	57,3	76,2	72,9	62,3	139,4	105,3
1949	64,1	77,2	35,6	68,0	35,9	44,9	153,9	61,2	66,4	71,2	85,0	51,3
1950	74,5	44,0	80,4	72,5	73,9	11,7	14,0	21,9	28,0	39,4	50,2	88,1
1951	72,4	90,6	106,7	36,8	15,4	14,2	80,9	14,9	18,8	90,6	67,5	140,0
1952	88,3	132,6	88,8	33,7	26,8	20,9	74,7	157,6	63,9	48,6	72,0	48,0
1953	63,4	77,6	38,8	66,9	39,2	13,7	7,0	36,9	71,7	40,9	145,0	110,4
1954	19,9	51,2	62,4	27,0	37,7	18,4	33,8	112,9	67,8	70,0	27,2	42,9
1955	83,3	17,5	55,0	61,4	62,3	22,8	2,8	13,0	91,5	34,6	91,6	73,0
1956	76,4	52,9	44,0	76,5	36,1	36,7	16,8	61,9	17,6	48,0	103,2	72,0
1957	103,0	43,4	97,4	217,5	21,1	104,5	17,9	21,4	44,1	43,5	46,0	132,9
1958	28,3	75,2	95,0	176,8	22,1	72,8	15,5	36,3	76,9	42,0	96,6	138,5
1959	73,8	42,5	101,3					37,1	44,3	24,2	39,1	62,8
1960	57,7	70,3	69,5	55,4	35,2	40,9	56,3	134,7	37,9	117,8	61,0	37,0
1961	161,6	67,4	125,2	82,7	42,6	63,5	70,0	8,8	34,6	5,9	37,4	63,5
1962	116,3	93,8	32,0	29,7	25,0	35,0	64,5	38,2	56,2	46,2	103,9	
1963	57,3	44,0	36,5	90,4	114,9	11,6	30,4	20,6		21,7	68,8	57,6
1964	83,5	182,6	108,0	36,4	42,8	25,3		40,1	47,1	33,2	71,0	93,9
1965	127,0	93,1	66,1	142,1	43,4	11,6	20,1	38,6	27,2	157,0		96,4
1966	124,0	57,3	204,0	52,8	38,8	25,8	43,5	66,1	49,2		107,9	75,4
1967	107,2	61,2	53,0	56,2	23,0		44,4	26,3	33,9	69,2	61,1	107,1
1968	42,8	141,4	111,4	70,0	45,7	22,8	24,2	74,3	27,6	20,8	74,4	78,1
1969	70,9	60,6	52,8	58,6	44,5	30,8	30,2	48,5	29,6	58,4	70,9	98,6
1970	75,9	33,6	68,6	38,4	21,0	30,6	24,6	29,0	64,2	30,3	52,7	68,9
1971	38,2	151,1	39,2	76,0	73,4	25,0	3,3	41,7	49,0	59,8	142,0	104,3
1972	38,5	82,2	83,9	54,6	22,5	11,0	40,3	44,0	65,3	50,2	95,4	107,2
1973	60,2	107,6	78,4	131,4	38,6	15,8	27,9	15,9	71,8	85,1	68,9	75,1
1974	52,8	39,0	61,1	59,4	36,3	28,3	2,9	10,1	42,3	37,0	89,5	108,2
1975	70,6	70,2	66,9	41,0	60,5	75,2	19,2	11,9	49,0	54,0	100,7	77,5
1976	56,0	147,2	68,8	22,4	34,2	24,2	31,8	87,4	71,5	97,2	44,4	156,0
1977	107,4	16,0	32,8	157,0	18,1	11,7		27,3	62,4	18,0	86,2	79,2
1978	93,0	74,2	67,7	220,0	65,9	13,2		31,2	26,8			
1979												
1980	51,0	46,0	16,8	83,0	7,8	18,8			17,1	57,0	96,4	75,6
1981												
1982												
1983												
1984												
1985												
1986												
1987												
1988												
1989												
1990												
1991												
1992												
Total	2701,5	2741,5	2650,6	2665,7	1504,5	1135,7	1189,2	1623,3	1832,8	2047,3	2928,9	2986,2
n	36	36	36	35	35	35	32	36	36	35	35	35
Média	75,0	76,2	73,6	76,2	43,0	32,4	37,2	45,1	50,9	58,5	83,6	85,3
S	30,4255	38,3249	34,2558	50,2732	24,0046	21,7262	30,1640	34,0112	24,3732	34,7210	32,5892	28,5585
Maximo	161,6	182,6	204,0	220,0	114,9	104,5	153,9	157,6	132,8	157,8	149,3	156,0
Minimo	19,9	16,0	16,8	22,4	7,8	11,0	2,8	8,8	15,3	5,9	27,2	37,0

Tabela 4.10 – Resumo dos valores pluviométrico referentes ao Número de Dias com Chuva estação Teresópolis (83744), nos anos de 1961 a 2005 (INMET, 2006).

Número de Dias com Chuva												
ESTAÇÃO : Teresópolis			Nº 83744			UF : RJ			PERÍODO: 1961 a 2005			
Ano	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1961												
1962	24	20	7	13	14	10	8	1	10	9	13	19
1963	14	14								19	19	24
1964						12	16	9	9	24	16	23
1965		24	22	19	19			10	9	15	22	20
1966	19	11	16	14	15	4	10	9	9	16	24	21
1967		16	23	17	7	8	9	3	9	10	22	22
1968	14	16	13	9	8	5	8	10	9	20	9	
1969	18	12	21	11	6	11	6	8	6	19		21
1970	18		14	11	4	6	13	7	11	18	19	13
1971	14	12	14	6	8	10	4	11	13	19	20	15
1972	15	19	15	13	4	1	6	8	9	17	22	21
1973	22	17	17	10	8	2	6	7	15	18	19	20
1974	23	11	14	17	6	10	0	7	9	15	10	24
1975	25	18	12	10	14	7	8	3	9	17	18	15
1976	17	11	17	6	13	6	8	10	15	15	14	23
1977	18	10	17	13	6	8				14	21	21
1978	17	20	7		13	3		8	6	14	19	17
1979	25	17	20	12	9	10	9	8	15			17
1980	21	11	6	11	4	4			9	12	18	24
1981	21			9	4	6	7	9	4	18	19	
1982	21	7		14	9	9		8	11	16	20	28
1983	25	14				13	4	7	27	16	18	22
1984	13	12	17	16	8	4	6	13	8	11	18	23
1985	23	17	20	12	9	7	4	6	15	13	16	18
1986	22	18	14	11	9	3	9		9	10	12	24
1987	19	13		13	12							
1988												
1989												
1990												
1991												
1992			10	13	10	3	10		18	15	21	12
1993	13	15	12	11	9	7	5	11	14	10	14	
1994	26	9	26	16	11	5	6	6	9	12	16	
1995	16	15	14	9	10	4	6	4		15	19	21
1996	18	18	20	11	10	6	8					
1997				11	9	7	2	6	12	14	16	15
1998	19	17	13	11	11	6	10	9	9	20	21	15
1999		12	18	9	6	9	9	6	9	12	14	19
2000		14	15	7	5	1	9	10	10	6	15	21
2001	18	18	16	6	11	2	6	2	11	11	19	19
2002	18	14	11	5	12	4	6	5	12	7	17	23
2003	24	6	18	6	7	1	6	9	9	15	17	21
2004	17	21	16	17	8	6	13	3	5	15	14	23
2005	26	19	17	11	5	4	11	3	11	9	20	21
2006												
2007												
2008												
2009												
2010												
Total	644	518	512	410	333	224	248	236	375	536	631	685
n	33	35	33	36	37	37	33	33	35	37	36	34
Média	20	15	16	11	9	6	8	7	11	14	18	20
S	4.0009	4.0786	4.5354	3.4910	3.4641	3.1793	3.1930	2.9060	4.1414	3.9625	3.4599	3.5940
Maximo	26	24	26	19	19	13	16	13	27	24	24	26
Minimo	13	6	6	5	4	1	0	1	4	6	9	12

Tabela 4.11 – Resumo dos valores pluviométrico referentes a Número de Dias com Chuva na estação Parque Nacional Teresópolis (83806), nos anos de 1943 a 1980 (INMET, 2006).

Número de Dias com Chuva												
ESTAÇÃO : P.Nac.Teresópolis			Nº 83806			UF : RJ			PERÍODO: 1943 a 1980			
Ano	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1943												
1944	19	22	18	14	8	6	8	6	6	12	22	23
1945	28	16	23	17	14	11	8	5	14	16	21	27
1946	20	10	22	19	11	10	10	10	8	16	18	20
1947	21	18	26	13	11	9	15	17	17	24	22	24
1948	13	23	20	15	12	6	9	12	9	17	23	24
1949	26	20	13	13	10	9	9	11	11	17	18	21
1950	26	17	18	16	8	11	6	7	9	19	25	17
1951	23	21	23	20	9	7	5	14	7	16	13	22
1952	24	25	21	20	10	12	14	8	17	21	23	21
1953	13	20	20	18	13	5	6	7	13	15	21	29
1954	11	17	16	20	15	5	8	7	9	18	21	17
1955	23	9	14	17	11	11	7	8	12	22	19	25
1956	9	12	22	19	21	14	12	15	11	18	22	20
1957	17	22	18	18	14	9	12	8	19	14	18	23
1958	18	14	19	14	16	7	12	5	12	16	17	21
1959	20	13	26	6	10	9	2	14	7	17	22	19
1960	26	20	27	10	16	9	8	8	10	10	18	28
1961	26	20	19	14	11	11	8	2	7	10	17	20
1962	24	23	11	15	14	12	10	7	13	21	20	
1963	13	18	12	13	5	10	7	7		16	19	21
1964	26	20	13	15	16	15		11	9	26	21	26
1965	21	26	23	18	12	5	10	7	12	17		21
1966	20	12	18	15	14	5	9	13	13		23	21
1967	27	18	24	21	9		10	5	14	12	22	26
1968	15	20	12	16	10	8	11	10	11	20	13	16
1969	21	12	21	18	7	14	9	13	9	21	23	23
1970	20	10	19	13	5	8	16	12	14	22	21	16
1971	15	12	18	16	10	11	6	12	15	20	22	17
1972	17	17	17	16	8	3	10	10	15	17	22	21
1973	23	19	20	11	10	5	8	13	16	18	20	24
1974	28	14	18	13	7	14	3	8	10	20	17	26
1975	25	17	12	12	14	14	10	6	12	21	19	19
1976	16	20	20	8	15	9	11	10	19	20	19	21
1977	17	8	21	20	8	8		9	12	19	24	25
1978	19	19	9	15	13	9		9	7			
1979												
1980	24	14	8	15	5	8			15	15	18	26
1981												
1982												
Total	734	618	661	553	404	319	289	328	414	603	683	750
n	36	36	36	36	36	35	32	35	35	34	34	34
Média	20	17	18	15	11	9	9	9	12	18	20	22
S	1781	4,6074	4,7878	3,4405	3,6809	3,0752	3,0742	3,3323	3,4851	3,6623	2,8001	3,4460
Máximo	28	26	27	21	21	15	16	17	19	26	25	29
Mínimo	9	8	6	6	5	3	2	2	6	10	13	16



Figura 4.3 - Localização a Estação Automática do INMET na sede do Parque Nacional da Serra dos Órgãos em Teresópolis – RJ. (Imagem Google Maps Brasil).



Figura 4.4 - Na fotografia a direita, uma vista parcial do sítio da Estação Meteorológica do INMET, instalada na sede do Parque Nacional da Serra dos Órgãos na Cidade de Teresópolis – RJ. Na fotografia esquerda um detalhe de alguns dos sensores da Estação, como o pluviômetro em 1º plano.



Figura 4.5 – Estação Automática da CRT, BR 116 KM 94,7 (Posto Garrafão). Neste sítio existem duas estações em funcionamento, sendo que uma transmite por GPRS e a outra por fibra ótica.



Figura 4.6 – Estação Automática da CRT, BR 116 KM 90 (próximo ao Alto do Soberbo). Neste local, desde existem duas estações em funcionamento, sendo que uma transmite por satélite e outra por fibra ótica.



Figura 4.7 – Detalhe das estações da CRT no KM 90 da BR 116. A fotografia da esquerda mostra a estação que envia os dados por satélite (Orbconn); a fotografia da direita mostra a estação que transmite seus registros por cabo de fibra ótica.

As estações telepluviométricas apresentam a grande vantagem de poder transmitir seus registros automaticamente e assim, além de dispensar a presença de operador para resgatar os dados, estes podem estar acessíveis na Internet em tempo real. No caso da estação do INMET no Parque Nacional da Serra dos Órgãos, o site na Internet é <<http://www.inmet.gov.br/sonabra/maps/automaticas.php>>, com acesso liberado para qualquer usuário. No caso das estações da CRT, o site na Internet <<http://www.teleaneel.com.br/principal.php>> necessita de login e de senha, fornecidos pela CRT.

4.2 - Eventos Extremos Recentes Próximos à Área de Estudo

Embora não tenham incidido diretamente sobre a área de interesse do presente estudo, cabe aqui a menção de três Eventos Pluviométricos de grande intensidade registrados em regiões muito próximas (a menos de 50 km de distância) ao trecho da Serra de Teresópolis da Rodovia BR 116 – RJ. O conhecimento das intensidades e acumuladas pluviométricas registradas naqueles eventos bem como um breve relato de suas consequências pode contribuir com uma noção sobre a pluviometria possível de atingir a área objeto da tese, já que tais regiões apresentam similaridades fisiográficas não muito diferentes daquelas encontradas na área estudada. Antes, contudo, de apresentar os dados, cabe ressaltar que dois daqueles eventos ocorreram durante meses de abril (abril de 2010 e abril de 2011), ou seja, no outono, quando, historicamente, a pluviometria é muito menor do que nos meses anteriores, referentes ao verão. Tal fato pode constituir uma coincidência ou então já serem efeitos das mudanças climáticas em função do aquecimento Global, tema que, mormente a partir da década de 2000 tem sido objeto de grandes pesquisas e debates na comunidade científica mundial.

O primeiro evento teve início na noite do dia 4 de abril de 2010 e atingiu boa parte (cerca de 600 km²) da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, abrangendo, em especial as faixas mais próximas ao litoral dos Municípios do Rio de Janeiro, Niterói e São Gonçalo. As estações pluviométricas do Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Município do Rio de Janeiro, registraram, a partir das 17 horas do dia 4 abril, em diversos pontos deste Município, chuvas com intensidades moderadas a fortes. Pelos critérios de definição do início e fim de evento chuvoso adotado pelo Sistema Alerta rio, o evento em questão, dependendo da região (bairro) do Município do Rio de Janeiro teve uma duração que variou desde 112 até 148 horas. A maior concentração das chuvas, entretanto, se verificou nas suas primeiras 36 horas. As maiores intensidades horárias - consideradas como fortes a muito fortes - ocorreram nas estações pluviométricas de Madureira (57,2 mm/h), Cachambi (52,2 mm/h) e Jardim Botânico (49,4 mm/h) e as maiores acumuladas durante o Evento (136 horas) foram registrados nos bairros da Rocinha (422,6 mm), Tijuca (406,4 mm) e Jardim Botânico (404,8 mm). Estima-se que, em função das muitas centenas de escorregamentos deflagrados pelas chuvas, pelo menos 10800 pessoas perderam suas casas e 250 perderam suas vidas.

o segundo evento começou na noite do dia 10 de janeiro de 2011 e prosseguiu até a madrugada do dia 13 de janeiro, quando começou a dissipar. As chuvas atingiram, especialmente, os Municípios de Petrópolis, Nova Friburgo e Teresópolis, totalizando uma área com forma elíptica, estimada em 900 km². Embora não contabilizado oficialmente, o número de ocorrências de escorregamentos apenas nestes três Municípios certamente ultrapassou a dezena de milhar, sendo os deslizamentos planares a tipologia mais frequente. Ao longo de muitos canais de drenagem verificaram-se ocorrências de corridas de detritos (debris flow) alimentadas pelas águas pluviais e pelos materiais escorregados nas encostas, provocando imensa destruição, cerca de 35.000 desabrigados e, pelo menos, 900 mortes. Estações pluviométricas localizadas na Região de Nova Friburgo do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e do Instituto Estadual do Ambiente (INEA) registram, principalmente, chuvas de intensidade moderada (5 mm/h a 25 mm/h) durante várias horas consecutivas, acarretando em grandes acumuladas, conforme mostra a Tabela 4.20. Na área da Tese, ao longo dos KM 86 e 104 da Rodovia BR 116 RJ, os índices pluviométricos foram relativamente baixos e não houve, pela CRT, nenhum registro de escorregamento. A estação pluviométrica que registrou os maiores índices foi a estação CRT KM 90, sendo os maiores valores pluviométricos (vide registros 108 e 109 da Tabela 4.12) correspondentes a 23,0 mm/h e 80,4mm/24h. Em face da importância do Evento na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro, estes valores pluviométricos foram destacados nos gráficos de correlação “mm/h x mm/24h” e “mm/24h x mm/96h”, respectivamente Figuras 6.1 e 6.3, no Capítulo 6. Cabe destacar, entretanto, que, durante a duração do referido evento, a CRT instalou um pluviômetro no Km 55 da BR 116 RJ que chegou a registrar, no dia 11/01/2011, uma intensidade horária máxima de 108 mm/h. Naquele evento, o trecho de rodovia entre os Km 55 e Km 75 (fora da área da Tese) foi duramente atingido, tendo sido registrados aproximadamente 80 ocorrências.

Tabela 4.12 – Maiores acumuladas pluviométricas registradas no Município de Nova Friburgo (RJ) durante o evento pluviométrico intenso iniciado na noite do dia 10 de janeiro de 2011, que atingiu uma expressiva área da Região Serrana do Estado Rio de Janeiro (Fontes: INEA <<http://www.inea.rj.gov.br>>, link Sistema de Alerta de Cheias e INMET <<http://www.inmet.gov.br>> link: Rede de Estações)

Nome da Estação Pluviométrica	Órgão Responsável	Acumulada Pluviométrica
Nova Friburgo	INMET	280mm/31h
Sítio Sta. Paula	INEA	190mm/7h15min
Olaria	INEA	87mm/h e 267mm/24h
Ypu	INEA	207mm/9h15min

O terceiro Evento durou, em média, 39 horas e teve início na noite do dia 25 de abril de 2011 e se prolongou até a manhã do dia 27 de abril. Embora as chuvas embora tenham atingido todo o Município do Rio de Janeiro, sua porção mais intensa se concentrou numa região mais restrita do Município (uma área estimada em apenas 30 km²) que abrangeu os bairros da Tijuca, Alto da Boa Vista, Grajaú, Maracanã e São Cristóvão. A Tabela 4.13 apresenta as intensidades e acumuladas pluviométricas registradas pelas estações pluviométricas do Sistema Alerta Rio. Como consequência daquelas chuvas, ocorreram transbordamentos de todos os canais de drenagem daquela região, alagamento de inúmeros logradouros (com alturas de águas chegando a 2,0m e registro de uma morte por afogamento) e cerca de 100 registros de escorregamentos nas encostas, mormente naquelas ocupadas por comunidades carentes (favelas) onde algumas casas foram destruídas, sem, felizmente, a ocorrência de vítimas fatais.

Tabela 4.13 – Maiores intensidades horárias e acumuladas pluviométricas registradas no Evento pluviométrico intenso iniciado na noite do dia 25 de abril de 2011 no Município do Rio de Janeiro (Fontes: Sistema Alerta Rio <<http://www0.rio.rj.gov.br/alertario/>>)

Nome da Estação Pluviométrica	Maior Intensidade Pluviométrica Horária (mm/h)	Acumulada Pluviométrica em todo o evento (mm/39h)
Tijuca / Muda	99,6	300,6
Alto da Boa Vista	87,2	187,0
São Cristóvão	67,4	187,4
Tijuca	60,4	242,8
Grajaú	55,8	200,0

4.3 - Registros Pluviométricos

Conforme citado anteriormente para o conhecimento da pluviometria na área estudada foram usadas cinco estações pluviométricas localizadas dentro ou no entorno da mesma: duas dela pertencentes ao INMET e três pertencentes a CRT. As estações pluviométricas mais antigas do INMET - PNT (83806) e Teresópolis-Centro (83744) fornecem dados a cada 24 horas, sempre as 0:00 do dia. Tais dados abrangem um longo período de tempo, da década de 60 até fins do anos 90. Isso proporcionou um maior número de ocorrências registradas com sua pluviometria medida, entretanto por serem apenas diários podem existir discrepâncias entre a hora exata das ocorrências e a hora das medições da pluviometria, diminuindo sua confiabilidade.

As estações mais recentemente instaladas (“Garrafão”; “CRT km 90”, “A618”) fornecem a pluviometria de hora em hora, proporcionando assim uma maior confiabilidade no fornecimento da pluviometria das ocorrências. Todavia, a abrangência temporal (2006 até os dias atuais) de tais estações é pequena se comparada à abrangência das mais antigas (1960 até 2006), razão do menor número de ocorrências registradas com pluviometria mais confiável.

Como citado neste capítulo, pela relativa distância entre o trecho da Rodovia de interesse e a localização da Teresópolis A618, ou simplesmente “Teresópolis”, seus dados pluviométricos foram normalizados com um fator de 1,45. Esta mesma estação era a única das cinco que estava referenciada em sua fonte com a hora no meridiano zero (UTC - Universal Time Coordinated), por isso, a existência da coluna hora “UTC”.

No Anexo 2 são apresentadas tabelas com os dados pluviométricos da área de estudo. Os dados foram organizados da seguinte forma:

A Tabela A2.1 apresenta a pluviometria com base em registros pluviométricos horários (mm acumulados na última hora antes da ocorrência) apenas referente às chuvas sem registros de ocorrências e suas respectivas acumuladas antecedentes.

A Tabela A2.2 apresenta a pluviometria das ocorrências com base em registros pluviométricos horários (mm acumulados na última hora antes da ocorrência) e suas respectivas acumuladas antecedentes.

A Tabela A2.3 apresenta os registros pluviométricos das ocasiões em que a estrada foi fechada preventivamente pela CRT.

A Tabela A2.4 apresenta a pluviometria das Ocorrências Circunstanciais com base em registros pluviométricos horários (mm acumulados na última hora antes da ocorrência).

A Tabela A2.5 apresenta os registros pluviométricos diários (mm acumulados em 24h) sem ocorrências.

A Tabela A2.6 apresenta a pluviometria das ocorrências com base em registros pluviométricos diários (mm acumulados em 24 horas).

A Tabela A2.7 apresenta os registros pluviométricos das ocasiões em que a estrada foi fechada preventivamente.

A Tabela A2.8 apresenta a pluviometria das ocorrências circunstanciais com base em registros Pluviométricos diários.

CAPÍTULO 5

OCORRÊNCIAS DE MOVIMENTOS DE MASSA NA ÁREA DE ESTUDO

5.1 - Origem dos Dados

Resgatar informações fidedignas sobre a tipologia dos escorregamentos e o horário exato das ocorrências destes movimentos de massa, particularmente daqueles com curta a curtíssima duração, constituem duas das três maiores dificuldades que os pesquisadores enfrentam quando analisam antigas ocorrências. A terceira grande dificuldade corresponde à obtenção dos valores exatos da pluviometria das horas e dias anteriores e no exato momento da ocorrência.

As dificuldades referentes à tipologia e ao horário se devem às naturais complexidades normalmente associadas à interpretação do fenômeno (que, não raro, pode variar de profissional para profissional), à falta de estudos e de investigações detalhadas após a ocorrência e à falta de testemunhas oculares com preocupação específica em registrar a hora e o minuto da deflagração do movimento. Tais informações são, contudo, fundamentais nos estudos de correlação entre chuvas e movimentos de massa. Uma vez que intensidades pluviométricas superiores a 35mm em apenas 15 minutos já foram registradas no Estado do Rio de Janeiro (Estação Pluviométrica Campo Grande do Sistema Alerta Rio, em 18/03/2000), diferenças de poucas horas em relação à hora exata da ocorrência podem acarretar em grandes diferenças nos valores de pluviometria utilizados nas correlações. Por outro lado, com o rápido e expressivo desenvolvimento da tecnologia e o conseqüente barateamento dos sensores meteorológicos eletrônicos e da telemetria em geral que vêm acontecendo nas últimas duas décadas, torna-se cada vez mais fácil a implantação de redes telepluviométricas automáticas, capazes de registrar dados com intervalos de tempo ao nível do minuto, reduzindo, assim, a chance de grandes erros na adoção dos valores pluviométricos que integram os estudos de correlação.

Embora atualmente a exata determinação da tipologia do movimento tenda a apresentar certa redução quanto ao nível de dificuldade (graças a maior integração de profissionais e a maior preocupação dos currículos dos cursos superiores de geologia de engenharia e engenharia civil quanto a este tema), ainda hoje apenas nas ocorrências de grande repercussão (quando grupos de geotécnicos são mobilizados em análises e discussões) ou nos casos de extrema simplicidade (e, portanto, de pequena margem de erro na classificação da tipologia) é que o pesquisador pode contar com uma razoável quantidade e qualidade das informações referentes à tipologia do fenômeno. De um modo geral, no caso de estradas de rodagem no Brasil, uma vez definida uma eficiente solução para o problema, cessa-se, por parte dos responsáveis, a preocupação por um perfeito entendimento de todo o processo e parte-se para resgatar o passivo da rodovia, que geralmente é muito grande.

A dificuldade na determinação do momento exato da ocorrência sempre existiu e ainda hoje prepondera na maior parte dos casos. Assim como no passado, nos dias atuais as testemunhas oculares dos movimentos de massa, em sua maioria, no momento da ocorrência, estão (compreensivelmente) tão somente preocupadas com a própria segurança e com o cuidado do patrimônio em risco. Quando questionadas sobre o momento do acidente, em geral o situam com grande imprecisão (“no meio da tarde”, “de madrugada”, etc.).

Na área de interesse do presente estudo, ou seja, o trecho da Serra dos Órgãos da BR 116 RJ, as dificuldades acima citadas se tornam ainda mais frequentes. A falta de estações telepluviométricas automáticas naquela área até o ano de 2008 (quando, então, a Concessionária Rio -Teresópolis - CRT ali instalou 4 telepluviômetros) impossibilitou a realização de boas correlações entre chuvas e escorregamentos ao nível horário (considerado minimamente adequado para o monitoramento do risco de escorregamentos em encostas), já que, desde a implantação daquelas estações com pleno funcionamento até o término do presente estudo, pouquíssimas ocorrências pluviométricas significativas foram registradas. Ressalta-se o fato de que até aquele ano de 2008, as estações pluviométricas mais próximas àquele trecho da Serra dos Órgãos eram as Estações “Parque Nacional de Teresópolis” e “Teresópolis” (ambas do Instituto Nacional de Meteorologia) e que embora estas estações possuam registros pluviométricos anteriores à década de 1980 (década mais antiga em que a atual pesquisa conseguiu resgatar informações sobre ocorrências de escorregamentos naquele trecho de rodovia), apenas os registros com frequência diária (mm/24h) apresentam regularidade suficiente para possibilitar as

correlações. Infelizmente, os registros destas duas estações também mostram grandes intervalos de tempo sem dados que, em alguns casos, chegam a ultrapassar vários e consecutivos meses.

Os registros de escorregamentos (acidentes geológicos ao longo da rodovia), por outro lado, mostraram-se razoavelmente organizados e de fácil acesso à consulta. Até o ano de 1995, a Rodovia Rio – Teresópolis era administrada pelo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER). A partir de março de 1996, a CRT passou a administrar 142,4 quilômetros da pista da Rodovia BR 116, no trecho do Estado do Rio de Janeiro, entre os Municípios de Duque de Caxias e Sapucaia, na fronteira com Além-Paraíba em Minas Gerais. Assim, boa parte dos registros dos acidentes ou integram o acervo técnico do Posto da Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT localizado no Km 104 da BR 116 RJ (Município de Guapimirim/RJ) ou estão na sede da CRT, situada no KM 133,5 da BR 116 RJ (Município de Piabetá/RJ).

No posto da ANTT os registros constituem Relatórios (cópias xérox em branco e preto) guardados em Pastas e *Caixas Box*, a maioria dos quais referentes a orçamentos, projetos de obras e processos financeiros dos acidentes que infringiram sérios danos à rodovia. Nestes relatórios, as datas e as localizações dos acidentes são sempre citadas, assim também como as conseqüências (danos à pista, etc) e as características das soluções adotadas. Não raramente existem fotografias dos acidentes e das consequentes obras de contenção. Maiores detalhes sobre a tipologia do movimento, entretanto, nem sempre estão presentes.

Na sede da CRT foi possível resgatar informações sobre acidentes a partir de 1996, informações estas distribuídas em resumidas planilhas e listas relacionais (“Planilha CRT” e “Relação CRT”, respectivamente), com datas, localizações e breves descrições das ocorrências ou integrando arquivos digitais mais elaborados, referentes a laudos e pareceres técnicos e de relatórios de vistorias, efetuados pelas empresas Tálus Consultoria, Salconsult Engenharia Ltda e Fundação COPPETEC.

Cabe ressaltar que através da grande experiência acumulada em muitos anos de vivência direta nos problemas da Rodovia, muita informação pode ser obtida durante agradáveis e profícuas conversas com os engenheiros Eduardo Auá (Chefe da R.7/2 do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – DNER – nas décadas de 1980 e 1990, e em 2009 estava lotado na Agência Nacional de Transportes Terrestres - ANTT) e Sérgio Magalhães (CRT), que facilitaram o acesso aos registros das ocorrências e incentivaram fortemente a presente pesquisa. Por fim cabe salientar

a pesquisa que foi feita em periódicos (jornais “O Globo” e “Jornal do Brasil”) no Museu Nacional e através de sites de busca na Internet, que constituíram boas fontes de informação, em particular no que tange às datas e conseqüências das ocorrências.

5.2 - Descrição das Ocorrências

A seguir são apresentadas, em ordem cronológica, as informações relativas aos eventos de chuvas com deflagração de escorregamentos mais significativos, com registros a partir da década de 1980, totalizando 125 ocorrências. O Capítulo 4 – Pluviometria na Área de Estudo apresenta um detalhamento destes eventos estritamente no âmbito da pluviometria, incluindo os valores das acumuladas pluviométricas e os modos de obtenção destes valores utilizados nas correlações entre chuvas e escorregamentos, objeto do Capítulo 7.

Cabe acrescentar que, para algumas das ocorrências de movimentos de massa, o volume de informação disponível na bibliografia pesquisada é expressivo, enquanto que, para outras, é pequeno e com importantes lacunas, em especial em relação ao horário das ocorrências e aos volumes de chuvas associados. Em algumas poucas, até mesmo os registros das datas tiveram que ser estimados, face à inexistência precisa deste dado. Entretanto, houve a possibilidade – para todos os registros – de contarem com informações sobre a localização, a tipologia genérica do processo de instabilização e, obviamente, a referência (origem da informação). Sempre que possível, foram acrescentadas informações mais detalhadas sobre o histórico dos eventos, horários das ocorrências, danos causados pelos movimentos de massa e sobre a interrupção do tráfego na Rodovia. Em relação às conseqüências danosas e com o objetivo de hierarquizar os eventos quanto a sua importância, foi criada uma classificação cujos critérios são apresentados na Tabela 5.1. Deste modo os eventos foram classificados como “Simples”, “Importantes” ou “Muito Importantes”. Um exemplo para cada um dos tipos de classe é apresentado no item 5.2.1; a descrição pormenorizada de todos os 40 eventos e suas 125 ocorrências integram o Anexo 3 (Registros sobre movimentos de massa na área de estudo). Por fim cabe mencionar o fato de algumas das ocorrências apresentarem mais de uma localização. Estes casos se verificaram quando um mesmo movimento atingiu diferentes trechos da pista de rolamento (e dos taludes de montante e de jusante) e, por este motivo

foram denominados no presente estudo de “ocorrência múltipla”. A tabela 5.2 apresenta a relação geral dos eventos pesquisados, com as respectivas datas ou período de duração, número de ocorrências registradas e sua categoria de acordo com a classificação apresentada na Tabela 5.1. As descrições individuais dos Eventos, pormenorizando as ocorrências, muitas das quais incluído figuras e fotografias, seguem imediatamente adiante. Por fim a Tabela 5.4 resume as informações das ocorrências de modo a facilitar pesquisas mais expeditas das principais informações.

Tabela 5.1 – Classificação do Evento pluviométrico com registro de escorregamento atingindo a pista de rolamento, quanto às conseqüências em relação à Rodovia BR 116 (Rio – Teresópolis) no trecho da Serra dos Órgãos.

Nº. de ocorrências	Alcance do escorregamento		
	Acostamento	1 pista	2 pistas
1	Simple	Simple	Importante
2	Simple	Importante	Muito Importante
3	Importante	Importante	Muito Importante
4	Importante	Muito Importante	Muito Importante
≥ 5	Muito Importante	Muito Importante	Muito Importante

Tabela 5.2 – Relação dos eventos de chuvas com um total de 125 ocorrências de escorregamentos significativos.

Evento Significativo	Data/Período	Número de Ocorrências registradas	Categoria (de acordo com a classificação da Tabela 5.1)
Ev1	01/07/1980	1	Importante
Ev2	05/03/1981	1	Importante
Ev3	26/11/1981	1	Simple
Ev4	02/12/1981	28	Muito Importante
Ev5	02 a 03/02/1988	3	Muito Importante
Ev6	08/12/1989	1	Simple
Ev7	17 a 18/01/1991	25	Muito Importante
Ev8	28/12/1997	1	Simple
Ev9	11/03/2000	1	Importante
Continua na próxima página			

Evento Significativo	Data/Período	Número de Ocorrências registradas	Categoria (de acordo com a classificação da Tabela 5.1)
Ev10	09/01/2001	2	Importante
Ev11	25/01/2002	1	Simple
Ev12	29/08/2002	1	Simple
Ev13	18/12/2002	12	Muito Importante
Ev14	21/01/2003	1	Simple
Ev15	29/01/2003	1	Importante
Ev16	10/01/2004	1	Importante
Ev17	07/02/2005 a 08/02/2005	1	Importante
Ev18	28/02/2006	1	Simple
Ev19	19/03/2006	1	Simple
Ev20	10/11/2006	1	Simple
Ev21	30/11/2006 a 01/12/2006	6	Muito Importante
Ev22	24/03/2008	2	Importante
Ev23	16/05/2008	1	Simple
Ev24	21/01/2009	6	Muito Importante
Ev25	15/11/2009	2	Muito Importante
Ev26	04/12/2009	1	Importante
Ev27	31/12/2009	1	Simple
Ev28	20/01/2010	1	Importante
Ev29	26/01/2010	1	Simple
Ev30	17/02/2010	1	Simple
Ev31	08/04/2010	1	Simple
Ev32	05/06/2010	8	Simple
Ev33	22/07/2010	2	Importante
Ev34	03/08/2010	1	Simple
Ev35	07/11/2010	1	Simple
Ev36	10/11/2010	1	Simple
Ev37	30/11/2010	1	Simple
Ev38	16/12/2010	1	Simple
Ev39	01/01/2011	1	Simple
Ev40	05/02/2011	1	Simple

5.2.1 - Exemplos de descrição de evento para cada um dos tipos de classe de evento pluviométrico

Evento Simples: **Evento 35**

- Data: 07/11/2010
- Categoria: Simples;
- Ocorrência Oc120: km 92,20 – Talude a montante da pista
 - Descrição: Rolamento e queda bloco rochoso (de pequeno porte) atingindo o acostamento e se fragmentando.
 - Conseqüências: não houve neccessidade de interdição do tráfego.
 - Referências: “Boletim de Ocorrência – 07/11/2010” da CRT.



Figura 5.1 e 5.2 – Fotos da Oc. 120 – Pedras que rolaram da vertente e acabaram no acostamento sem maiores conseqüências.

Evento Importante: **Evento 22**

- Data: 24/03/2008
 - Categoria: Importante;
 - Ocorrência Oc92: Km 89,90 (“Soberbo”) – Talude a montante da pista
 - Horário: 17h55min
 - Descrição: Queda/rolamento de 02 blocos rochosos com cerca de 2 toneladas.
 - Conseqüências: O material mobilizado atingiu a pista de rolamento e bloqueou parcialmente o tráfego.
 - Ocorrência Oc 93: Km 92,600 (“Santa”) – Talude a montante da pista
 - Horário: 18h
 - Descrição: Escorregamento de solo, rocha e vegetação, mobilizando um volume total de aproximadamente 7m³.
 - Conseqüências: O material mobilizado atingiu a pista de rolamento e bloqueou parcialmente o tráfego.
- Referências relativas às ocorrências Oc92 e Oc93: Planilha CRT "Módulo de Operações" Lista de Ocorrências / Ocorrências da Pesquisa de 07/04/2008 + comunicação oral Engo. Sérgio Magalhães da CRT.

Evento Muito Importante: **Evento 7**

- Data: 17 e 18/01/1991;
- Categoria: Muito Importante (Ocorrência de pelo menos 25 escorregamentos significativos no trecho da Rodovia entre os Km 86 e Km 101, sendo 14 a montante e 9 a jusante da pista. Fora da área de interesse da Tese, registro de 22 ocorrências significativas: Km 0,1; Km 26,8; Km 28,7; Km 28,8; Km 29,2; Km 30; Km 30,95; Km 32,9; Km 33,1; Km 33,2; Km 33,5; Km 49,2; Km 56; Km 62; Km 63; Km 66; Km 67,5; Km 70; Km 82,1; Km 82,8; Km 83 e Km 84).

No dia 21 de janeiro de 1991 (três dias após o término do Evento Ev7), o então Engenheiro Chefe da R.7/2 (DNER), Eduardo Peres Auá, produziu um Relatório

Preliminar que descreve e analisa as ocorrências na Rodovia. Neste documento Auá (1991) relata que: “Desde o início de Janeiro até a presente data a região da Serra dos Órgãos foi assolada por chuvas constantes sendo que nos dias 17 e 18, a precipitação apresentou características de tromba d’água provocando queda de barreiras em diversos pontos da Rodovia. A situação crítica prolongou-se por todo o dia 17 e madrugada do dia 18, embora a R 7/2 tenha restabelecido o tráfego. Na tarde do dia 17, houve por bem, por medida de precaução, interditar novamente o trecho da Serra, o que evitou conseqüência de perdas materiais e humanas.” Ainda no Relatório Preliminar de 21 de janeiro de 1991, são relacionados 23 pontos com danos a pista divididos em “Barreiras” (interpretadas na presente Tese como *escorregamentos em taludes a montante da pista*) e em “Aterros” (*deslizamentos parciais ou integrais da camada de aterro som a pista*), sendo que dos 23 locais, 4 encontram-se fora da área de interesse da Tese. Os locais com danos à pista decorrentes de movimentos de massa deflagrados pelas chuvas dos dias 17 e 18 de janeiro de 1991 são apresentados na Tabela 4.3. Dentre as diversas ocorrências destacou-se aquela referente ao Km 98,700 (Oc37) que mobilizou cerca de 60.000m³ de aterro, impedindo o tráfego por vários dias dificultando sobremaneira o acesso de veículos emergenciais e de apoio para execução de vistorias, remoção de material sobre a pista. De acordo com reportagem do jornal O Globo, de 20 de janeiro de 1991, além dos danos à pista o acidente também atingiu 3 casas e ocasionou 11 mortes.

A análise de outros documentos mostrou a existência de outros locais de acidentes não listadas na relação apresentada naquele Relatório Preliminar. Estes locais que foram descritos em outros documentos constituem as Ocorrências individuais do Evento Ev7 (Oc 36 a Oc60).

Tabela 5.3 – Resumo dos pontos com danos a pista de rolamento da BR 116 / RJ durante o evento chuvoso dos dias 17 e 18 de janeiro de 1991, apresentado no Relatório Preliminar do Engenheiro Chefe da R. 7/2 (DNER) no dia 21/01/1991.

	Localização (Km)	Volume do material mobilizado (m³)	Tipologia do Material mobilizado
"Barreira" (escorregamento no talude a montante da pista)	83,000	2.000	solo
	83,100	500	
	83,200	100	
	91,900	600	solo/rocha
	92,500	700	
	93,000	5.000	
	94,600	300	solo
	96,200	200	
	96,210	300	
	98,000	400	
	99,000	2.000	
	99,100	800	solo/rocha
	99,200	2.000	
	101,000	100	solo
Aterro (deslizamentos parcial ou integral da camada de aterro som a pista)	82,800	4.000	Camada de aterro sob acostamento
	86,000	300	Saia do aterro
	87,900	6.000	
	91,800	4.000	Camada de aterro sob acostamento e saia
	96,050	4.000	Camada de aterro sob acostamento e pista
	96,220	300	Saia do aterro
	98,700	60.000	Toda a camada de aterro sob a pista (150m de extensão)
	99,500	4.000	Saia do aterro
	100,000	2.000	Camada de aterro sob acostamento e pista

5.3 - Principais Processos de Instabilização

O acesso aos documentos referentes aos escorregamentos em geral permitiu a identificação de alguns aspectos relativos aos processos de instabilização diretamente associados às ocorrências, sendo, talvez, o mais marcante, a predominância dos escorregamentos translacionais (ou planares) em relação aos demais processos naturais de instabilização. Aparentemente, a preponderância de uma configuração geológico-geotécnica das encostas ao longo e a montante do trecho de Rodovia estudado, configuração esta caracterizada pelo domínio de segmentos retilíneos, muito declivosos, recobertos por um manto de alteração relativamente pouco espesso (em média inferior a 4,0m) e diretamente assentes sobre um maciço rochoso fraturado, constitui a principal causa do predomínio dos escorregamentos planares (massa terrosa e fragmentos de rocha que escorregam sobre a superfície planar correspondente ao topo do maciço rochoso). Compete aqui ressaltar que, embora, de um modo geral, a vegetação recobrendo as encostas auxilie na redução da susceptibilidade aos escorregamentos, esta também pode, contrariamente, em algumas situações, contribuir na deflagração dos processos, mormente nas encostas muito íngremes onde a cobertura vegetal é muito desenvolvida, com árvores de grande porte (e conseqüentemente grande peso) fixadas em horizontes terrosos pouco espessos. Este parece ser o caso em várias ocorrências de escorregamentos planares em segmentos de encostas existentes a montante do trecho da Rodovia em apreço.

Além dos escorregamentos translacionais, também se destacam como importante tipologia de ocorrência (embora em menor número do que os escorregamentos translacionais), os processos de instabilização associados às quedas de blocos e de lascas rochosos, e os rolamentos / deslizamentos de blocos e lascas rochosas deflagrados nos segmentos de encostas a montante da pista. Estes processos são especialmente comuns entre os quilômetros 90 e 96.

As instabilizações de saias de aterros a jusante da pista de rolamento aparecem, igualmente, como importantes processos de instabilização uma vez que suas conseqüências em relação à pista são, em várias ocasiões, extremamente danosas, destruindo integralmente dezenas de metros de pista, provocando a interdição total do fluxo na via e demandando vultosos recursos para a recuperação

dos segmentos danificados da via. Aparentemente, a deflagração da maioria destas ocorrências esteve diretamente associada a problemas de drenagem da própria pista.

Processos associados a corridas de detritos, potencialmente muito danosos, felizmente apresentam pequena frequência na área de estudo, sendo o caso da ocorrência 18, que atingiu a pista no km 91,2, na área de descanso “Parada da Santinha”. Cabe citar que este é o único ponto da Rodovia em que foram construídas obras preventivas contra este tipo de processo de instabilização. A Figura 5.3 apresenta algumas indicações de pontos na rodovia onde existe maior suscetibilidade associado a corrida de detritos no trecho de Rodovia em apreço.

Por fim cabe citar a ocorrência no km 101 relativa à lenta movimentação de uma antiga língua coluvionar que atravessa a rodovia numa extensão de aproximadamente 100m. Conforme já citado no item anterior, esta ocorrência foi estudada por EHRlich e LIMA (2008), sendo o seu risco considerado “moderado”. Trata-se de uma área de geologia complexa, que está sendo instrumentada geotecnicamente (sondagens, piezômetros, inclinômetros) e cuja determinação das principais características geotécnicas constitui objeto de tese de Doutorado na COPPE/UFRJ (doutorando Glauco Aguilar Oliveira).

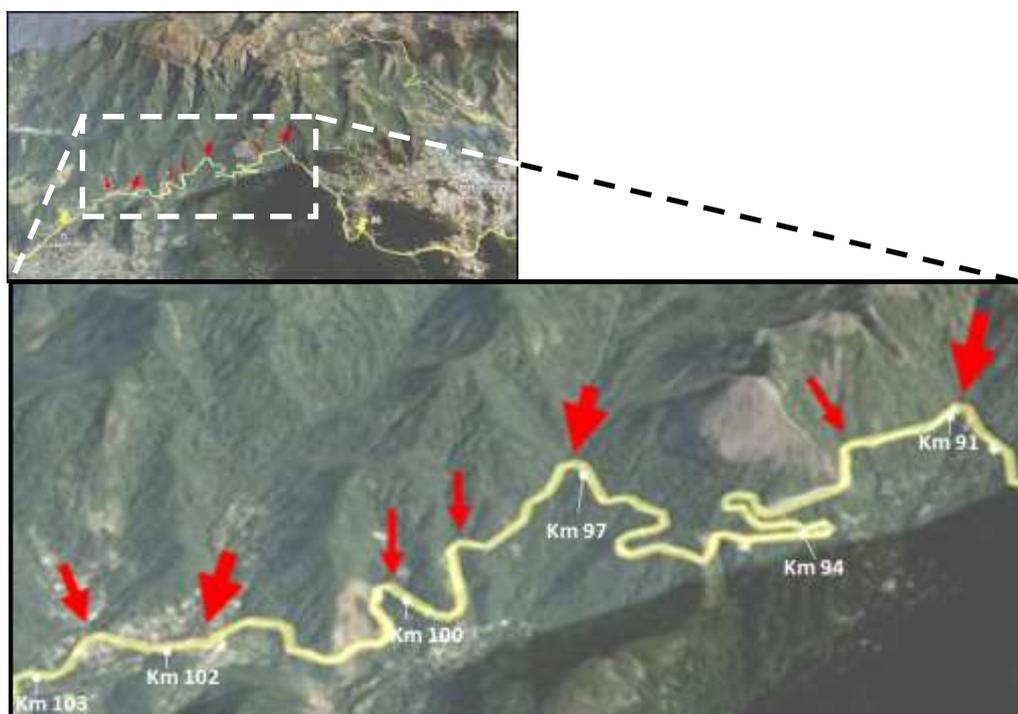


Figura 5.3 – Algumas indicações de pontos na Rodovia onde existe risco associado à corrida de detritos. Estes pontos correspondem às interseções da pista de rolamento com eixos de vales muito extensos e pronunciados, com potencial de desenvolvimento das corridas.

5.4 – Breve Análise Estatística do Risco

A proposta ora apresentada para análise do risco geológico associado a movimentos de massa vincula-se, predominantemente, a um breve tratamento estatístico das informações amealhadas sobre as 125 ocorrências analisadas. Estas ocorrências foram registradas em documentos técnico-administrativos.

A primeira destas análises diz respeito ao posicionamento (origem) das ocorrências em relação a pista de rolamento, a montante ou a jusante. Os casos de ocorrências originadas a montante da pista estão, em sua maioria, associados a escorregamentos nas encostas ou nos taludes (terrosos e ou rochoso) escavados para a implantação da Rodovia. Na maioria dos casos de ocorrência com origem a jusante da pista, os problemas estão associados à instabilização de aterros. A Figura 5.4 apresenta a distribuição das ocorrências em relação ao posicionamento da pista de rolamento, onde é possível se observar que 93 das ocorrências (correspondentes a 74% do total) foram deflagradas em pontos situados a montante da pista, 25 ocorrências (20% do total) a jusante e 7 ocorrências (6% do total) que tiveram início a montante, atravessaram a pista, e causaram instabilizações a jusante.

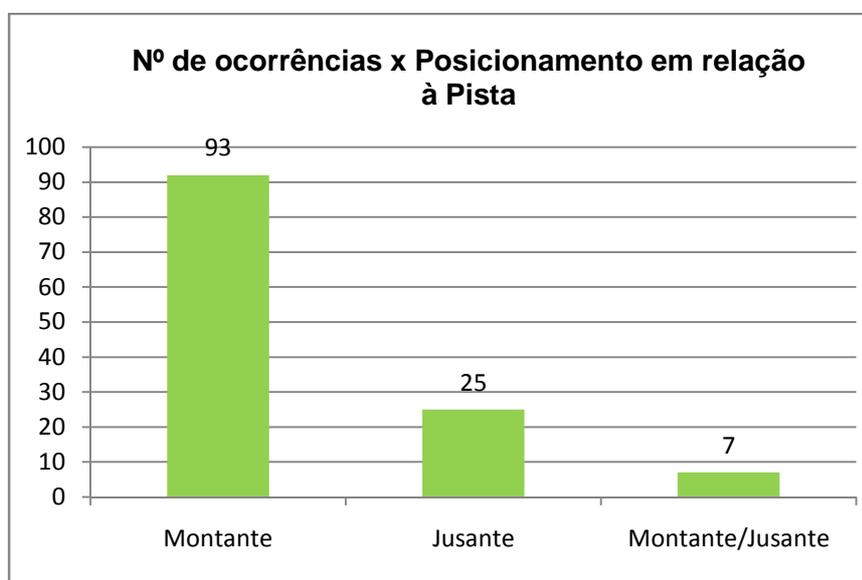


Figura 5.4 – Gráfico apresentando o número de ocorrências deflagradas a montante e a jusante da pista de rolamento no trecho da Serra dos Órgãos da BR - 116 RJ.

Em seguida, com base na Tabela 5.1 que apresenta um critério para classificação (“Simples”, “Importante” e “Muito Importante”) de um Evento Pluviométrico (“Categoria do Evento”) em função dos dados causados à Rodovia e a Tabela 5.2 que relaciona os Eventos Pluviométricos analisados com o número de ocorrências e a categoria do Evento, foi possível determinar que dos 40 Eventos Pluviométricos pesquisados, 55% (ou seja, 22 Eventos) podem foram classificados como “Simples”, 27% (ou sejam, 11 Eventos) forma “Importantes” e apenas 18% (ou sejam, 7 Eventos) foram categorizados como “Muito Importantes”. A Figura 5.5 Apresenta graficamente estes resultados.

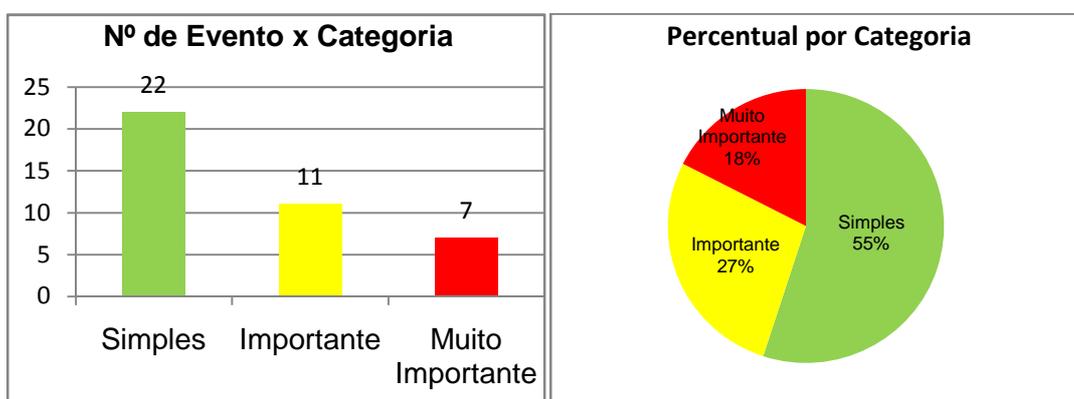


Figura 5.5 – Quantidade e Percentual dos Eventos Pluviométricos em função de sua Categoria quanto aos danos causados na Rodovia BR 116RJ.

Dando continuidade ao estudo, a análise buscou distinguir os intervalos quilométricos de maior risco geológico associado a escorregamentos em relação ao número de ocorrências registradas entre 1980 e 2010. Os resultados desta análise são apresentados na Figura 5.6 onde é possível se observar uma nítida predominância do “Risco” no Trecho da Rodovia entre os quilômetros 90 e 95. Esta análise foi, ainda, discretizada em três períodos temporais distintos, 1980-1990, 1990-2000 e 2000-2010, cujos resultados estão respectivamente apresentados nas Figuras 5.7, 5.8 e 5.9. Estes resultados embora tenham revelado diferenças significativas nas distribuições das ocorrências por unidades quilométricas, ainda guardam certa tendência a concentrar o trecho de maior risco associado ao intervalo entre os Km 90 e 95, ratificando a indicação da análise temporal integral (1980-2020). Não deve ser por outro motivo que é neste intervalo onde se verifica uma maior densidade de obras de estabilização de encostas, mormente àquelas associadas a processos de instabilização deflagrados nas faces e cristas dos taludes marginais a montante da pista.

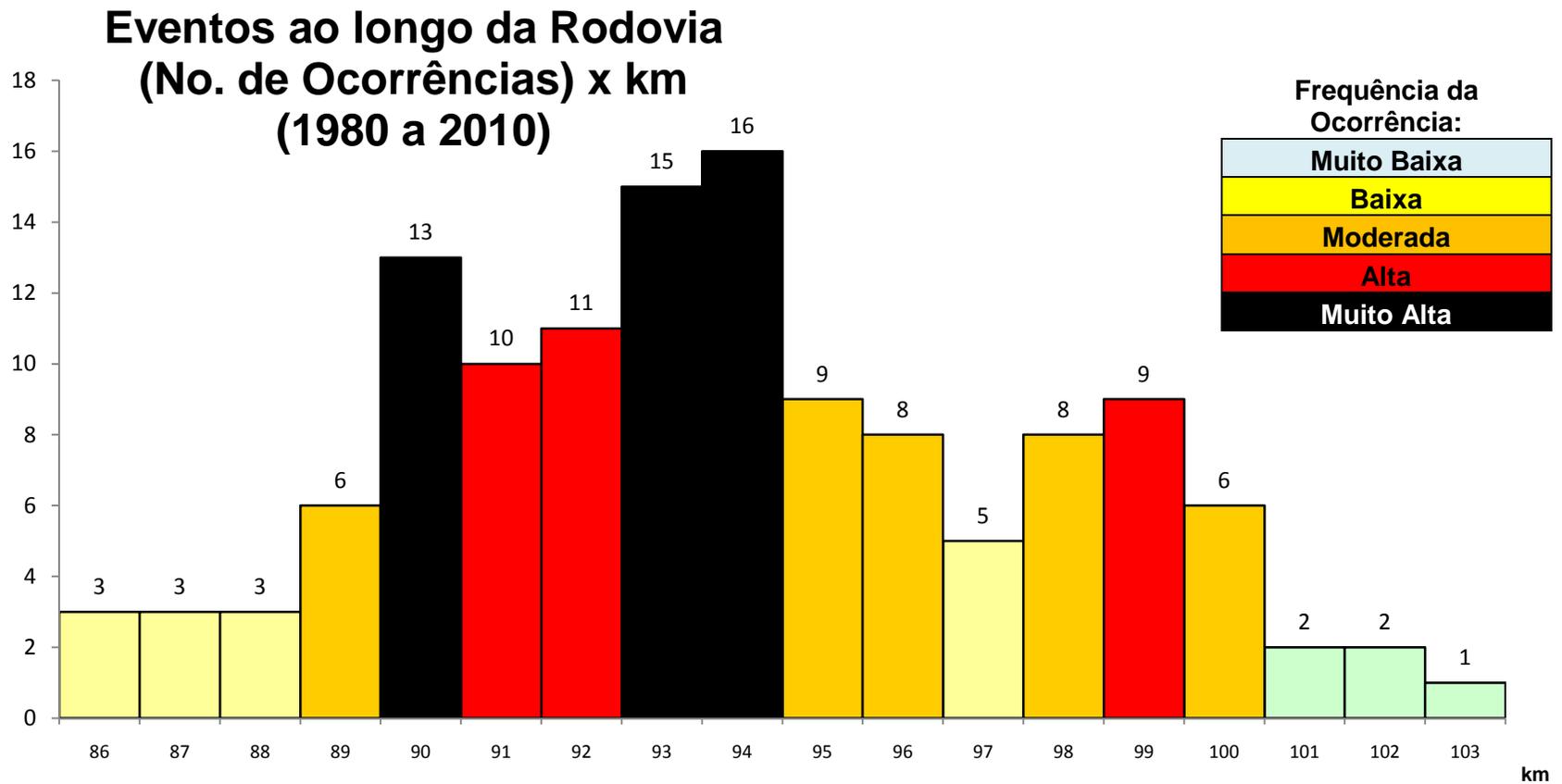


Figura 5.6 – Gráfico relacionando o No. de Ocorrências ao longo da Rodovia BR 116 RJ (entre os KM 86 e 104) x Intervalo quilométrico, no período 1980 a 2010.

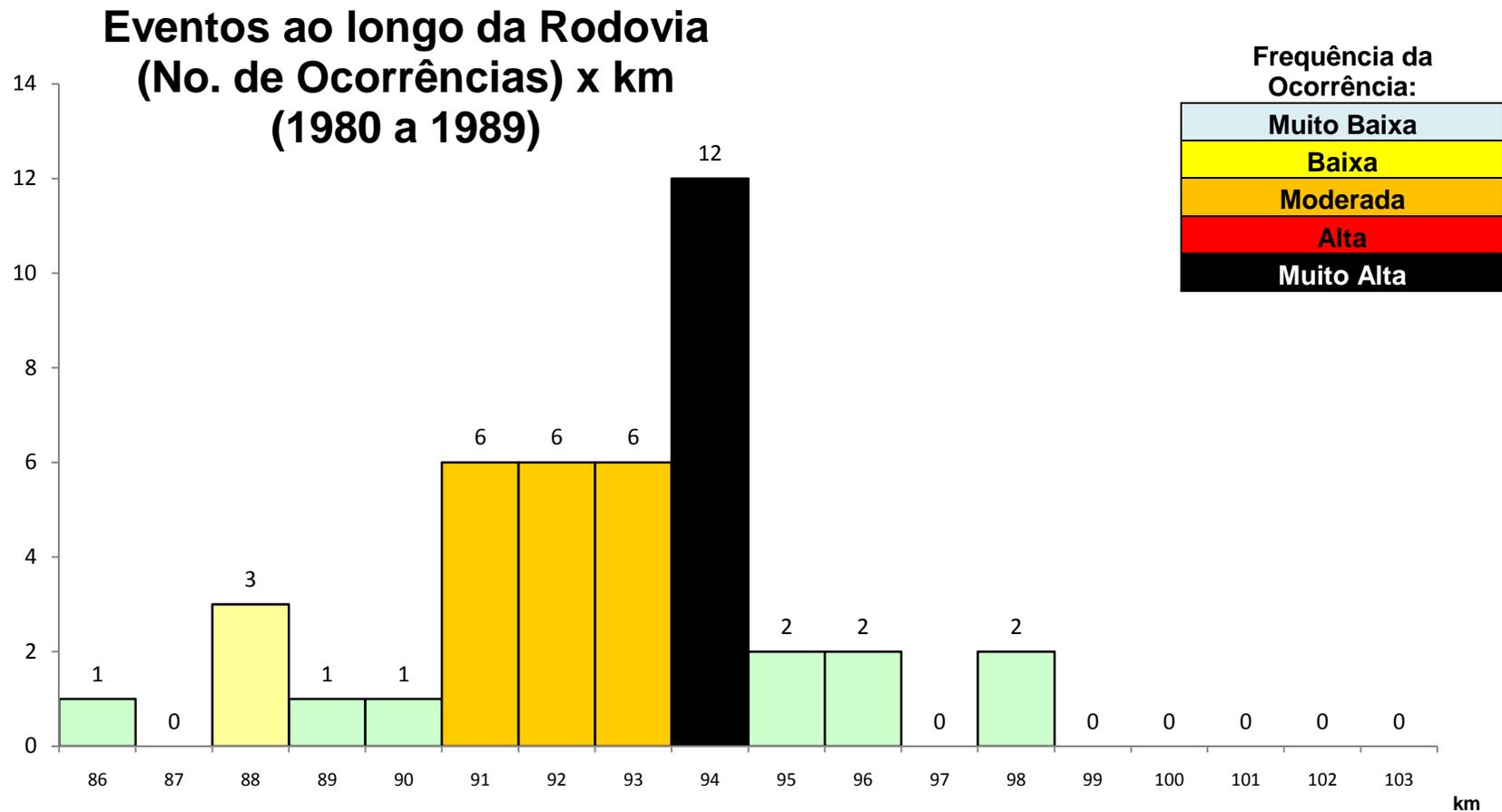


Figura 5.7 – Gráfico relacionando o No. de Ocorrências ao longo da Rodovia BR 116 RJ (entre os KM 86 e 104) x Intervalo quilométrico, no período 01/01/1980 a 31/12/1989.

Eventos ao longo da Rodovia (No. de Ocorrências) x km (1990 a 1999)

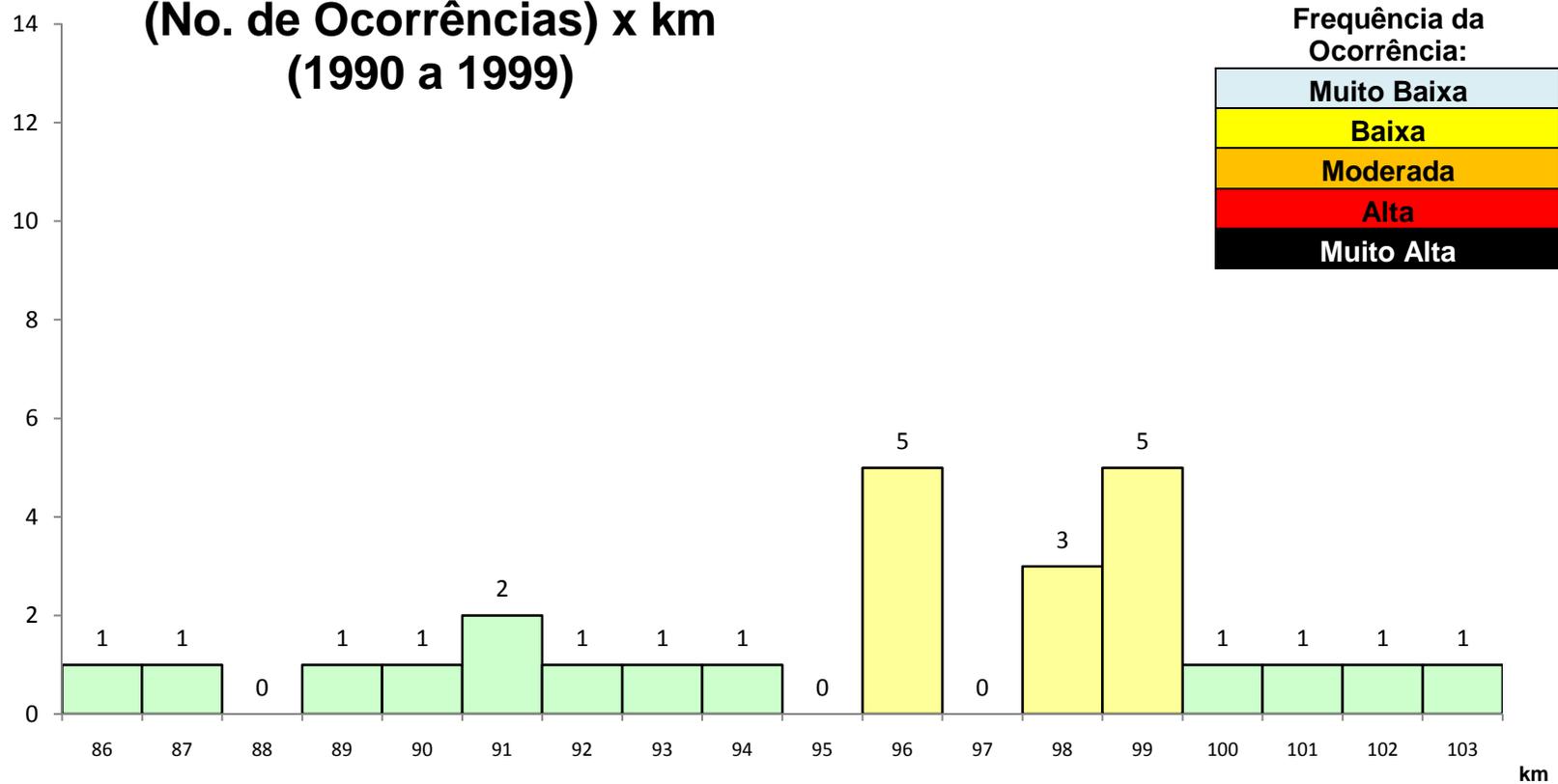


Figura 5.8 – Gráfico relacionando o No. de Ocorrências ao longo da Rodovia BR 116 RJ (entre os KM 86 e 104) x Intervalo quilométrico, no período 01/01/1990 a 31/12/1999.

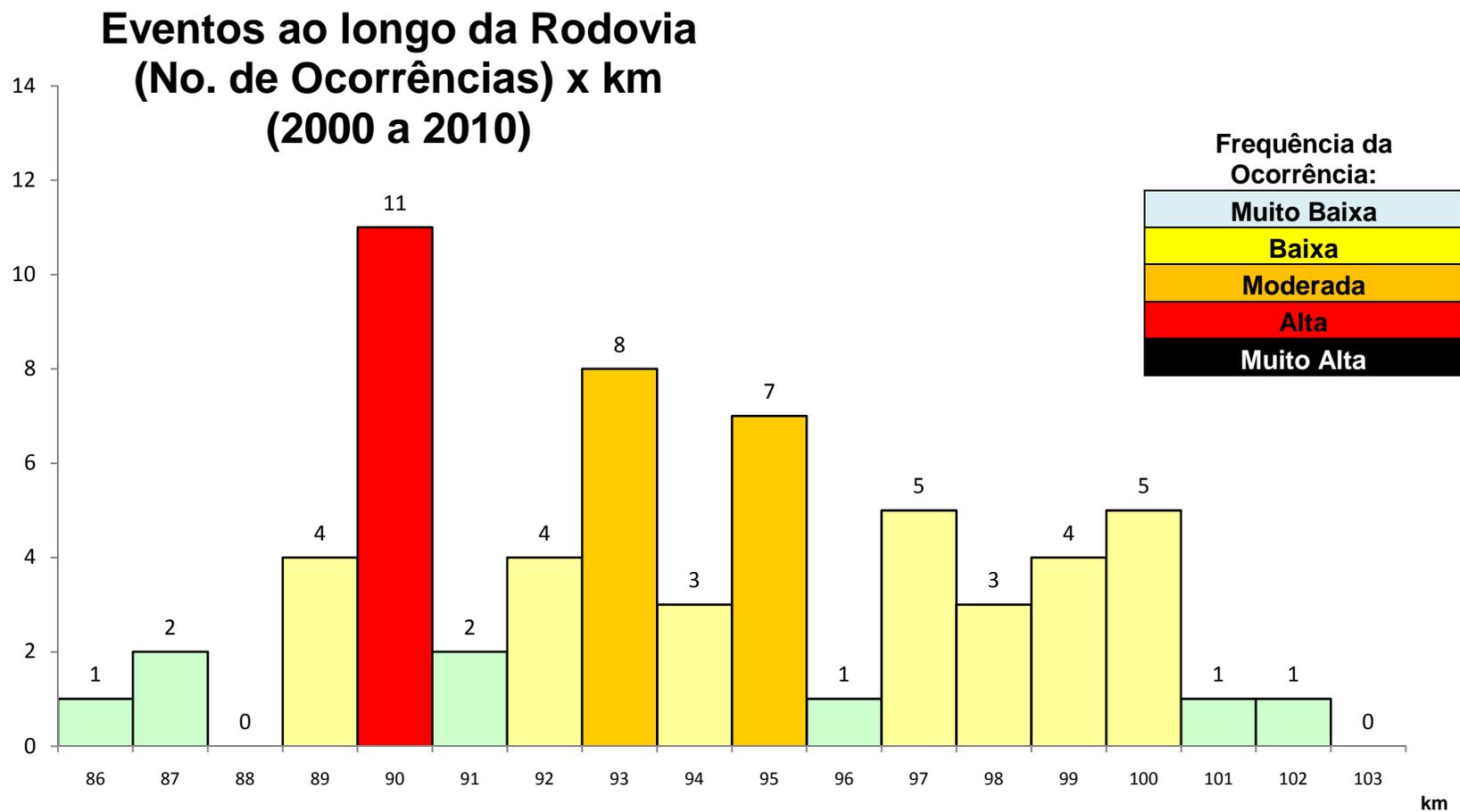


Figura 5.9 – Gráfico relacionando o No. de Ocorrências ao longo da Rodovia BR 116 RJ (entre os KM 86 e 104) x Intervalo quilométrico, no período 01/01/2000 a 31/12/2010.

Uma interpretação preliminar mais expedita dos resultados da análise estatística sugere que o intervalo entre os km 90 e 95 constitui o segmento de maior risco da Rodovia no trecho da Serra dos Órgãos. Esta interpretação, entretanto, deve ser confrontada com o fato de ser aquele intervalo quilométrico o (relativamente) mais contemplado com obras de estabilização de encostas e, portanto, pelo menos teoricamente, onde o risco geológico foi mais reduzido graças às intervenções para sua eliminação / redução. Com base na premissa que o risco foi reduzido naquele intervalo em função das intervenções executadas, o intervalo da rodovia existente entre os quilômetros 95 e 99, que possui características fisiográficas aproximadamente similares ao intervalo km 90 – km 95, contudo uma menor densidade de intervenções para eliminação/redução do risco, passa a constituir como o intervalo de mais alto risco potencial associado a escorregamentos.

Por fim cabe ressaltar a relativa discrepância entre o número de ocorrências verificadas no período 1990-2000 em relação aos demais períodos (1980-1990 e 2000-2010). O autor acredita em duas hipóteses para a explicação deste fato: origem de ordem climática (apenas um evento pluviométrico significativo - Ev 7 - foi classificado como muito importante na década) e decorrência de uma melhor organização dos dados pela CRT.

CAPÍTULO 6

CORRELAÇÃO ENTRE CHUVAS E MOVIMENTOS DE MASSA NA ÁREA DE ESTUDO

6.1 - Resultados

Os resultados ora apresentados são fruto da metodologia descrita no Capítulo 3. Assim sendo, dentre as 15 possibilidades de combinação entre acumuladas pluviométricas (Tabela 3.5) apenas a correlação entre a Intensidade pluviométrica horária (mm/h) e a Acumulada pluviométrica diária (mm/24h) apresentou resultados coerentes e consistentes que permitissem o desenvolvimento de análises mais aprofundadas, sendo o gráfico resultante desta combinação apresentado na Figura 6.1. Cabe ressaltar que havia uma grande expectativa por parte da correlação entre as acumuladas pluviométricas diárias (mm/24h) e as acumuladas pluviométricas em quatro dias (mm/96h), não apenas por ser a correlação com o maior número de dados (eventos chuvosos com e sem ocorrências de escorregamentos), mas também porque este tipo de correlação tem mostrado bons resultados em outras localidades (D'ORSI et. al. 2000 e 2004). Na área de interesse, entretanto, os resultados não mostram existir uma correlação bem definida para a deflagração dos escorregamentos, considerando a combinação "mm/24 x mm/96h", conforme mostram as Figuras 6.3 e 6.4. Alguns outros exemplos de correlações que, aparentemente, não possibilitaram proveitosos aprofundamentos de seus resultados são apresentados nas Figuras 6.6 e 6.7. Esta limitação a um pequeno número de resultados gráficos passíveis de maiores análises já era, de alguma forma, esperada em face das grandes incertezas associadas aos dados utilizados na pesquisa, já discutidas anteriormente no Capítulo 4, em especial em relação ao horário de deflagração da ocorrência e o consequente volume pluviométrico associado. Sua restrição a uma única condição, conforme já comentado, surpreendeu o autor.

A significativa diferença entre o volume de pontos plotados nos diversos gráficos de correlação, particularmente, entre os gráficos relativos a "mm/h x mm/24h" e a "mm/24 x mm/96h" pode ser explicada pelo fato de que, no universo de registros

pluviométricos disponíveis para consulta na área de estudo, a discretização da pluviometria em intervalos de 1h somente passou a ocorrer a partir da segunda metade da década de 1990 e o maior percentual de eventos com registros de ocorrências se deu, justamente, no período entre 1980 e 1995. A discretização por pluviometria diária (mm/24h), por outro lado, esteve disponível em todo o período da pesquisa (1980/2010). Não obstante tal diferença entre os volumes de registros pluviométricos disponíveis foi a correlação entre mm/h e mm/24h a única que apresentou uma possibilidade de definição de uma Linha de Tendência (“threshold”), sugerindo, como conclusão preliminar, que o início dos processos de instabilização está mais fortemente controlada pela acumulada pluviométrica diária (mm/24h) e pela intensidade horária do que pela pluviometria acumulada nos dias antecedentes à deflagração do escorregamento.

6.2.1 - Correlação com Base na Relação mm/h x mm/24h

As Figuras 6.1 e 6.2 apresentam, respectivamente, os Gráficos, visão geral e em detalhe, da correlação obtida entre pluviometria (mm/h x mm/24h) e os escorregamentos. Nesta correlação a Linha de Tendência (“threshold”) define o limite inferior do campo pluviométrico onde existe uma alta probabilidade de ocorrência de Eventos Importantes ou Muito Importantes. Conforme já mencionado anteriormente, equação da curva correspondente a esta Linha de Tendência foi determinada por métodos computacionais (regressão por potência), que resultaram no seguinte: $y = 620,77x^{-0,718}$, onde “y” é a intensidade horária (mm/h) e “x” a acumulada diária (mm/24h). A forma da curva obtida é similar à forma de diversas outras curvas resultantes de estudos de correlação entre chuvas e escorregamentos, no Brasil e no Mundo, descritos no item 2.2 do Capítulo 2, ou seja, o valor da intensidade pluviométrica decresce, de modo não linear, com o aumento da Acumulada Diária (mm/24h). Este comportamento é coerente com a ótica geológico-geotécnica, já que, altas acumuladas diárias tendem a aumentar a umidade dos solos, e as pressões hidrostáticas nas fraturas das rochas, deflagração e aceleração das erosões superficiais e outros fenômenos que facilitam os processos de instabilização nos taludes naturais e artificiais. Assim, se um determinado talude já se apresenta predisposto à instabilização (escorregamento) em função de um gradual aumento da saturação nas últimas 24 horas, espera-se que as intensidades pluviométricas horárias

necessárias à detonação do processo devam ser relativamente pequenas. Por outro lado, se um determinado talude se apresenta pouco saturado (em face da pequena a inexistente contribuição pluviométrica nas últimas 24 horas) e, nesta condição é detentor de um relativamente alto coeficiente de segurança, então o valor da intensidade pluviométrica horária necessária para deflagrar o processo de instabilização terá que ser muito alto.

Esta boa condição de correlação entre as chuvas e a deflagração de Eventos Importantes e Muito Importantes não ocorre, entretanto, com os Eventos Simples. Conforme indicado no Gráfico de correlação com mm/h x mm/24h, as intensidades horárias destes Eventos Simples apresentaram, de um modo geral, valores muito baixos enquanto que as Acumuladas diárias apresentam grande variabilidade (18mm/24h a 72mm/24h). Além disso, a pesquisa detectou um expressivo número de pares pluviométricos (mm/h, mm/24h) em que não foram registradas ocorrências de escorregamentos, porém que exibiam valores pluviométricos muito acima dos valores obtidos para os pares pluviométricos relativos aos Eventos Simples. Uma possível explicação para as ocorrências de pequenos escorregamentos em situação de pluviometria muito baixa pode estar relacionada aos episódios de ventanias, capazes movimentarem e derrubarem árvores de portes diversos, existentes ao longo dos taludes marginais às pistas de rolamento. Ao tombarem, as árvores de médio e grande porte tendem a carregar consigo volumes terrosos (e por vezes alguns fragmentos e blocos rochosos) e provocar pequenos movimentos de massa que, junto aos troncos, galhos e raízes, atingem o acostamento ou meia pista, caracterizando um Evento Simples. Cabe, entretanto, lembrar, que escorregamentos em taludes podem ser deflagrados sem, necessariamente, a presença de um agente bem definido e com atuação direta de curto prazo (tal como pluviometria intensa ou ocorrência de sismos), seja evidente. O desenvolvimento de processos com atuação de longo prazo, tais como as expansões e contrações dos solos e rochas (devido a ciclos de saturação ou de variação térmica, por exemplo) levando a deflagração de escorregamentos, tem sido observado em diversas partes do mundo, inclusive na Cidade do Rio de Janeiro, como, por exemplo, no caso do escorregamento rochoso de grandes dimensões, com a mobilização de aproximadamente 6.000m³ de material rochoso, que se despreendeu de escarpa rochosa muito fraturada e causou sérios danos materiais e vítimas fatais em um Condomínio Residencial no bairro de Vila Isabel (GEO-RIO, 2009), ocorrido em condições secas, ou seja, sem registro pluviométrico nos quatro dias antecedentes ao escorregamento. Este também pode ter sido o caso do Evento Simples - Ev 27, no qual ficou nítida a ocorrência de escorregamento planar (solo pouco espesso sobre o

maciço rochoso (vide Figura A3.56), porém com registro de Acumulada pluviométrica diária muito baixa (10mm/24h) e ausência de registros de intensidade horária.

A ausência de bons resultados gráficos utilizando-se correlações de intensidade horária com acumuladas pluviométricas referentes a períodos maiores do que 24 horas, como por exemplo, mm/48h, mm/72 e mm/96h, sugere a influência de uma fortuita combinação das características geológicas e geomorfológicas da área de estudo, no desenvolvimento dos processos de instabilização. Provavelmente, as altíssimas declividades verificadas nos trechos de encostas cortados pela rodovia, que não permitem grandes desenvolvimentos de solo, e o alto grau de fraturamento do maciço rochoso contribuem para o aumento da velocidade das percolações superficiais e subsuperficiais, facilitando a deflagração de movimentos rápidos a muito rápidos. Assim, bastariam períodos máximos de 24 horas para que as águas pluviais dessem início ao desenvolvimento de sulcos erosivos superficiais, saturassem as delgadas camadas de solo que recobrem o maciço rochoso e atingissem sua intensa trama de fraturas das rochas. Tais condições seriam suficientes para deflagrar os processos de instabilização associados, por exemplo, ao avanço de frentes de saturação nas camadas terrosas, aos desenvolvimentos de pressões hidrostáticas nas fraturas das rochas e a intensificação de erosões, que são, aparentemente, os mais frequentes problemas nos taludes ao longo da Rodovia.

Gráfico mm/h X mm/24h

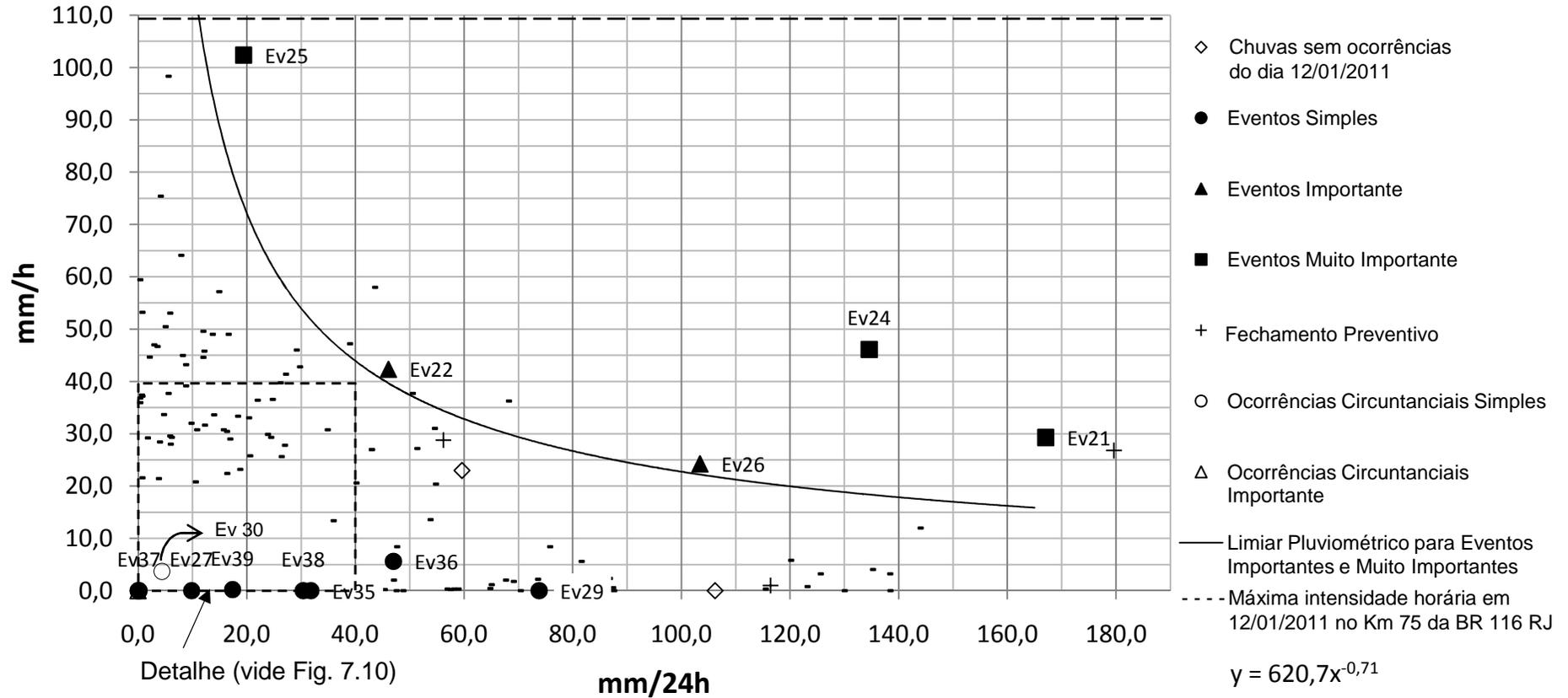


Figura 6.1 – Gráfico de correlação entre “mm/h” e “mm/24h”

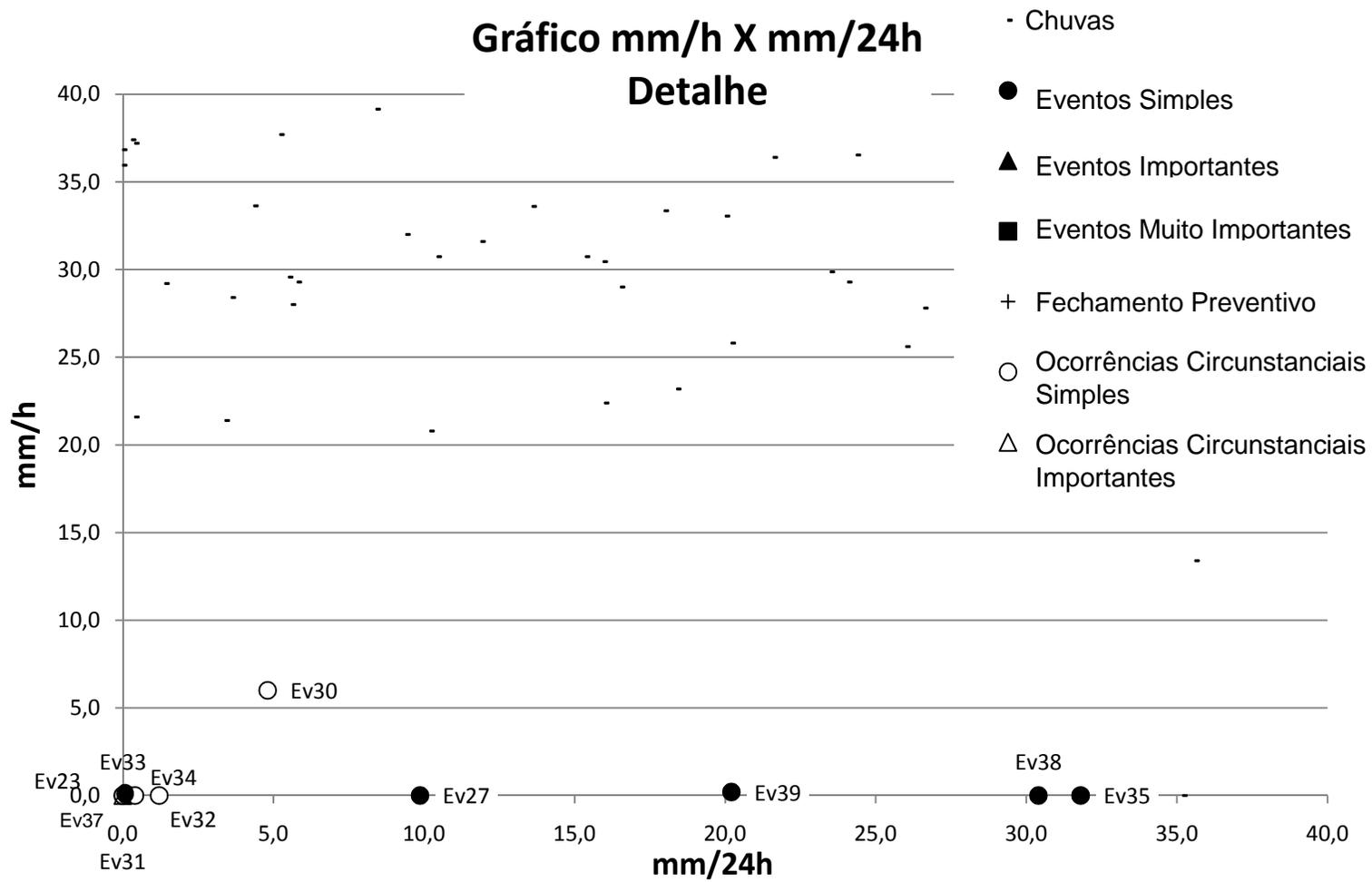


Figura 6.2 – Detalhe dado gráfico referente à Fig. 6.1.

Gráfico mm/24h X mm/96h

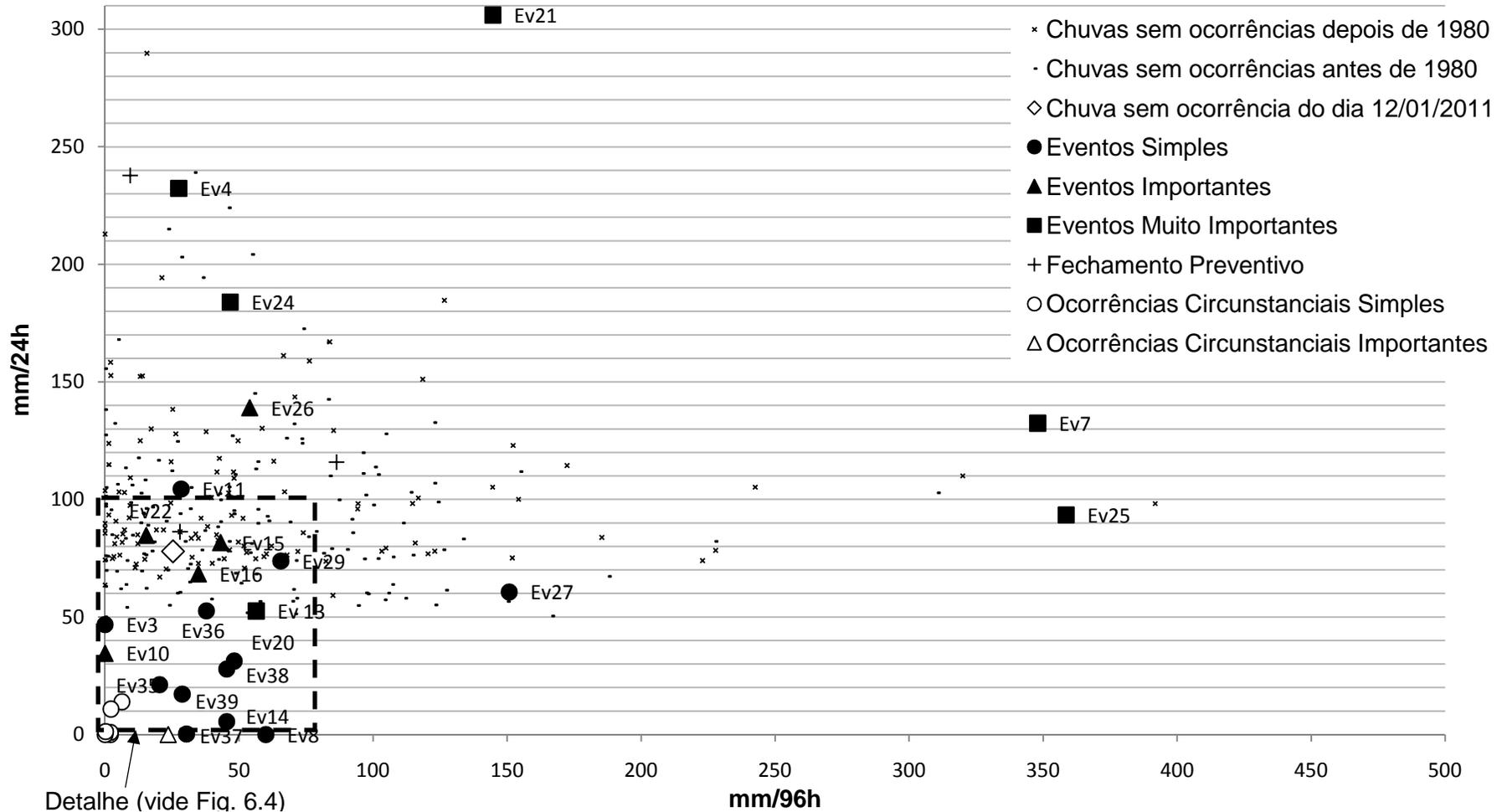


Figura 6.3 – Correlação entre “mm/24h e mm/96h”: resultados não possibilitaram o estabelecimento de um limiar pluviométrico crítico. Dados de chuvas anteriores a 1980 sem possibilidade de verificação sobre a existência ou não de ocorrência de movimentos de massa.

Gráfico mm/24h X mm/96h - Detalhe

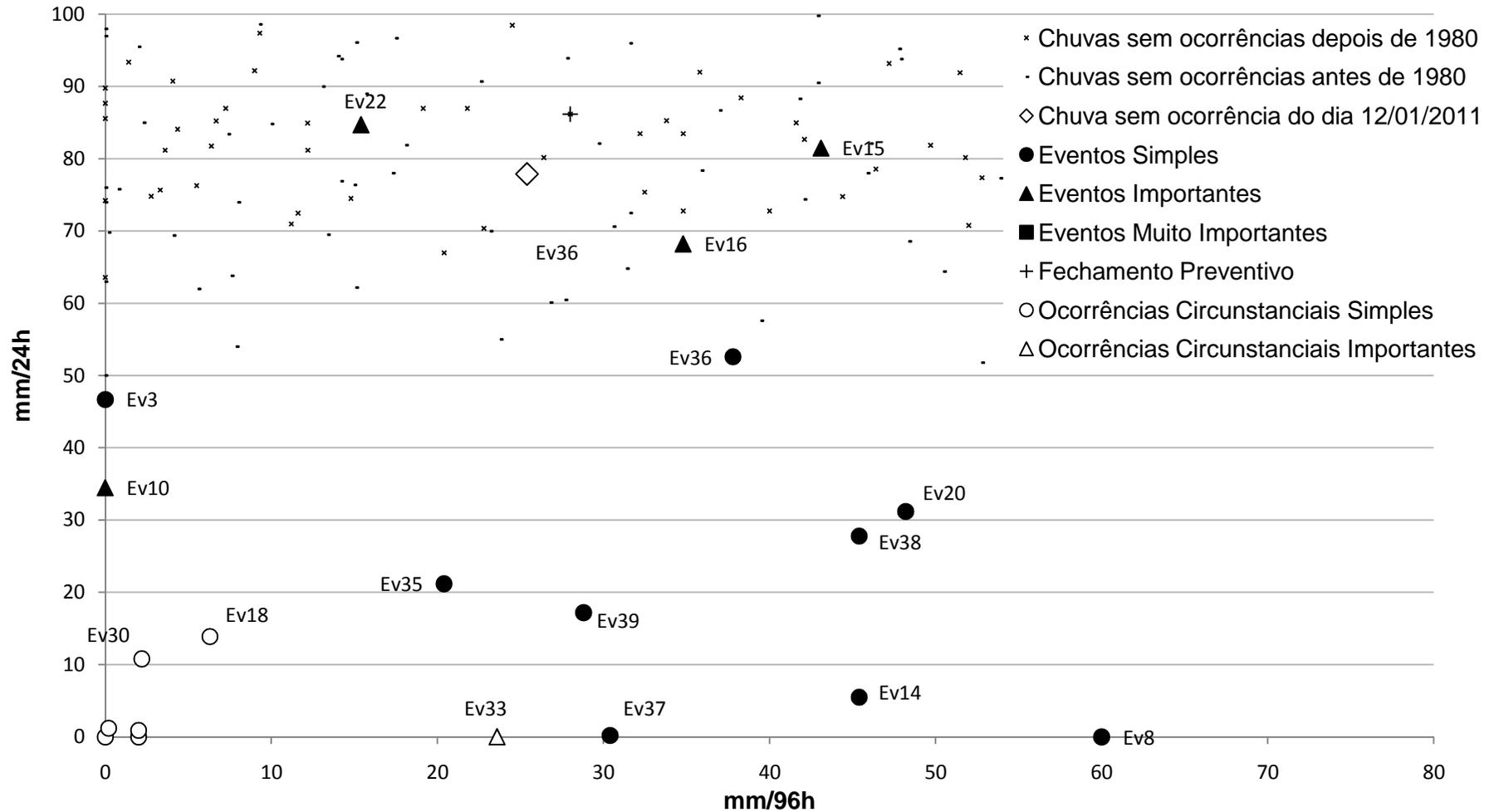


Figura 6.4 – Detalhe dado gráfico referente à Fig. 6.3.

Gráfico mm/24h x mm/48h

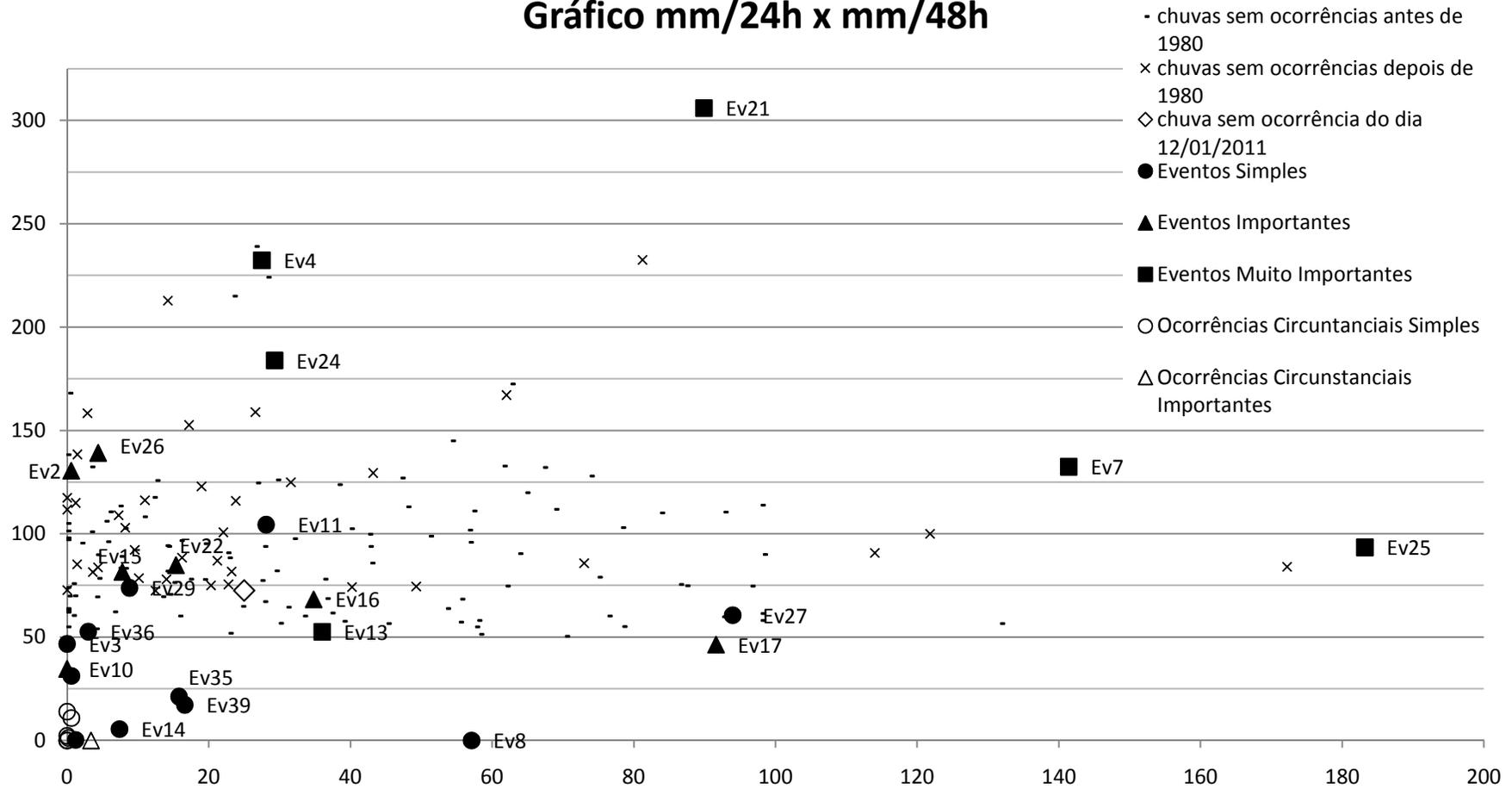
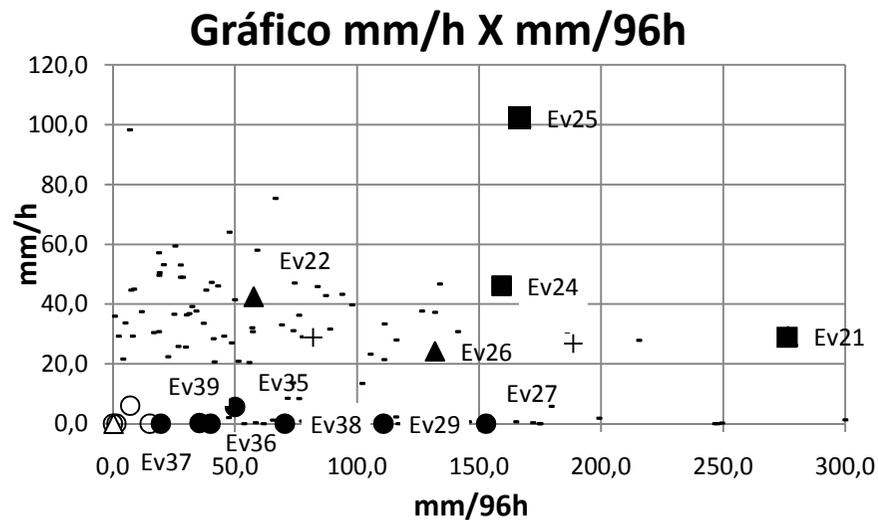
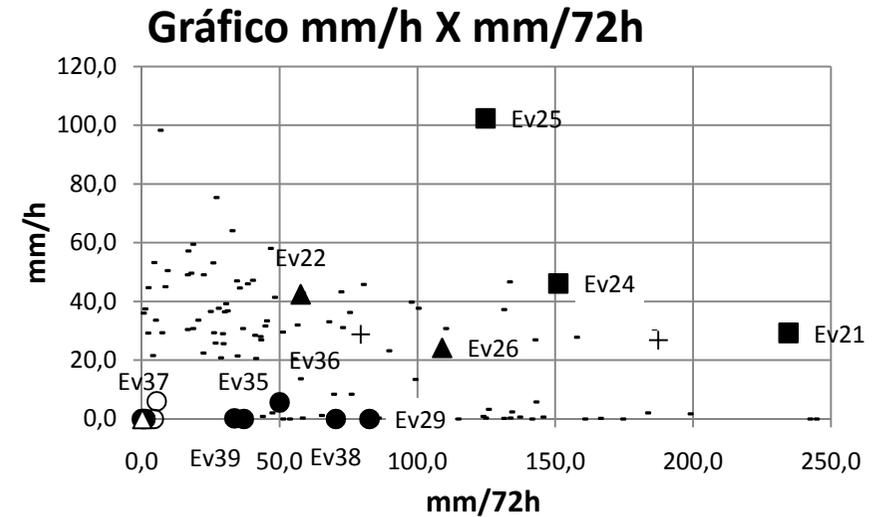
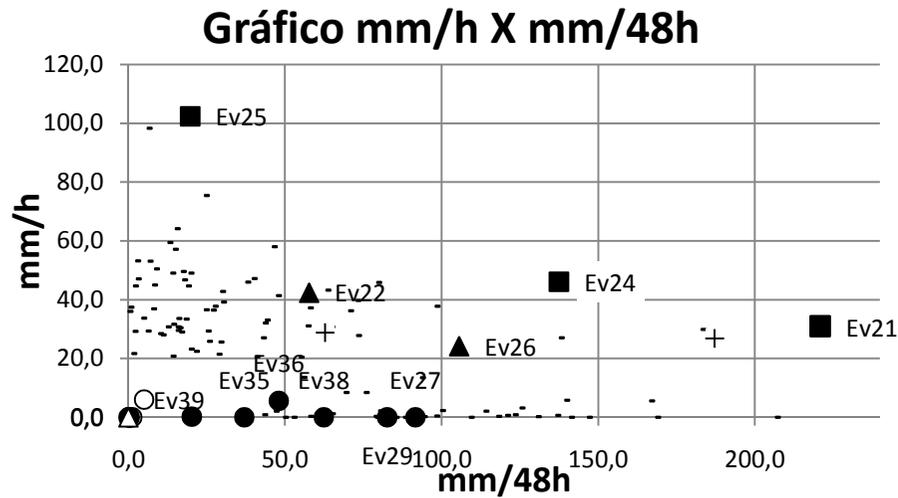


Figura 6.5 – Exemplo de correlação (“mm/24h x” x “mm/48h”) testada que não apresentou resultado consistente.



Legenda:

- Chuvas sem ocorrência
- Eventos Muito Importantes
- ▲ Eventos Importantes
- Eventos Simples
- + Fechamento Preventivo
- Ocorrências Circunstanciais Simples
- △ Ocorrências Circunstanciais Importantes

Figura 6.6 – Diversos exemplos de correlações testadas que não apresentaram resultados consistentes.

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7.1 – Limiares Pluviométricos Críticos

As análises dos resultados obtidos nos gráficos de correlação entre a pluviometria e os escorregamentos no trecho da Serra dos Órgãos da Rodovia Federal BR 116 RJ, entre os quilômetros 86 e 104, possibilitaram a determinação de um limiar pluviométrico (“threshold”) a partir do qual é alta probabilidade de ocorrência de escorregamentos que atinjam as pistas de rolamento. Diversas combinações pluviométricas foram testadas, sendo a utilização da intensidade pluviométrica horária (mm/h) com a acumulada nas 24 horas antecedentes aquela que apresentou os melhores resultados na definição de um limiar pluviométrico crítico. As possíveis causas para este fato foram discutidas no Capítulo 7 e devem estar associadas às características geológicas das encostas que margeiam a Rodovia naquele trecho, onde a combinação entre as altíssimas declividades ali existentes e o alto grau de fraturamento do maciço rochoso, tende a dificultar o desenvolvimento de espessas camadas de solo e a contribuir para o aumento da velocidade das percolações superficiais e subsuperficiais, facilitando a deflagração dos movimentos de massa. Neste contexto, destaca-se o grau de incerteza existente, face ao relativamente pequeno volume de dados (até então) disponíveis e à dificuldade de um melhor refinamento dos registros pluviométricos de maiores antecedências. Consequentemente, uma possível contribuição das chuvas antecedentes em períodos maiores do que 24 horas não pode ser efetivamente comprovada, ou pelo menos não ficou tão francamente evidenciada como na correlação entre a pluviometria acumulada em uma hora e a sua respectiva acumulada em 24 horas. Ressalta-se, entretanto, que uma menor dependência na intensa (número e alcance) geração de movimentos de massa pelas chuvas de grande antecedência em relação às chuvas de curta (até 24h) duração e grande intensidade, estaria de certo modo, coerente com a expressiva preponderância – na área pesquisada - dos movimentos considerados como rápidos a

muito rápidos (SHARPE, 1938 in GUIDICINI e NIEBLE, 1976), cujas velocidades podem variar desde alguns até vários metros por segundo. Para os casos de deflagração de movimentos de massa em pequeno número / alcance (eventos simples) o controle pluviométrico é certamente diferenciado em relação aos eventos importantes e muito importantes. Nas tentativas de correlação direcionadas exclusivamente para eventos simples, não obstante o seu maior número (vide Figura 6.3) as incertezas associadas aos dados foram ainda mais determinantes no impedimento de um refinamento que pudesse evidenciar algum tipo de limiar pluviométrico específico para esta classe de evento.

É importante salientar que o foco do presente trabalho é relativo a movimentos rápidos (quedas de blocos e escorregamentos de solo), o que explica a maior importância das chuvas horárias e antecedentes de curto período (24h), constatada nas diversas tentativas de correlação. Os movimentos lentos (massas coluvionares entre outras) observados nos trechos dos Km 101 e Km 87, e que não estão diretamente associados ao risco geológico-geotécnico, certamente sofrem influência de chuvas de períodos mais longos, conforme indicam os estudos do Eng. Glauco Aguilar Oliveira, que nos últimos anos vem desenvolvendo pesquisas com instrumentação geotécnica nestes dois trechos da Rodovia, como parte de seu trabalho no curso de doutorado da COPPE/UFRJ.

O limiar pluviométrico supracitado, que combinou a intensidade pluviométrica horária (mm/h) com pluviometria acumulada nas 24 horas antecedentes (mm/24h), definiu uma curva com a equação $y = 620,77x^{-0,718}$ onde “y” é a intensidade pluviométrica horária e “x” a acumulada pluviométrica nas 24 horas antecedentes, representada graficamente na Figura 6.1. A curva determinada pelo limiar estabelece a fronteira entre dois campos pluviométricos bem específicos: acima do limiar situa-se o campo pluviométrico de alta probabilidade de ocorrência de eventos do tipo Importante e Muito Importante (vide Tabela 5.1) e abaixo do limiar está o campo pluviométrico com possibilidade de ocorrência de chuvas sem registros de escorregamentos ou com ocorrência de eventos do tipo Simples (vide Tabela 5.1).

7.2 – Calibrações dos Limiares e dos Índices Pluviométricos Críticos

Face às incertezas associadas aos limiares e aos índices pluviométricos críticos definidos no presente estudo e considerando a possibilidade de utilização prática da pluviometria como parâmetro indicador para fechamento preventivo da rodovia pela CRT no trecho da Serra de Teresópolis, preconiza-se a realização de calibrações anuais dos ora apresentados limiares e índices pluviométricos. Os valores pluviométricos críticos aqui apresentados foram definidos com base em um volume de dados relativamente pequeno e com alguma imprecisão, tanto na determinação dos horários das ocorrências, quanto na obtenção dos próprios registros pluviométricos. Além disso, os processos naturais de evolução do relevo (desenvolvimento de processos erosivos, fragmentação do maciço rochoso por ação do intemperismo, etc.) e as próprias melhorias antrópicas (obras de drenagem, de contenção, etc.) executadas na rodovia tendem a modificar as condições de estabilidade dos setores de encosta diretamente afetados, aumentando ou reduzindo os valores da pluviometria crítica. Assim sendo, recomenda-se a manutenção da rede telepluviométrica instalada pela CRT na Rodovia e a adoção, por parte da CRT, de uma rotina de coleta sistemática dos dados pluviométricos e relativos às ocorrências, que deverão ser organizados em banco de dados digital de modo a facilitar a realização dos futuros estudos de correlação entre chuvas e escorregamentos, viabilizando, deste modo, a ora preconizada calibração anual da pluviometria crítica. Como sugestão para a coleta e organização dos dados necessários para os futuros estudos de correlação, recomenda-se que os futuros Boletins de Ocorrência incluam, pelo menos, as informações apresentadas na Tabela 7.1.

Tabela 7.1 – Informações a serem incluídas nos Boletins de Ocorrência da CRT de modo a facilitar o desenvolvimento de futuros estudos de correlação entre chuvas e escorregamentos.

Nº. da Ocorrência	
Data da Ocorrência	Tipo de material mobilizado: solo, rocha, vegetação.
Horário da Ocorrência	Volume aproximado do material mobilizado:
Local (Km):	Conseqüências da ocorrência (breve descrição)
Pistas de rolamento atingidas: P1, P2, acostamento.	Descrição da Ocorrência (quando necessárias informações complementares)
Origem do movimento: (a montante ou a jusante das pistas)	Fotografia(s)
Tipo de ocorrência: deslizamento translacional, deslizamento rotacional, queda/rolamento, corrida/avalanche, ruptura de aterro, outros (descrever)	Responsável pelo Boletim de Ocorrência

7.3 – Risco Geológico-Geotécnico devido às Chuvas

Embora inicialmente não tenha sido considerado como um dos objetivos da Tese, a aglutinação de informações (e suas conseqüentes análises) relativas ao risco geológico-geotécnico devido às chuvas e associado a escorregamentos (sensu lato) na área de interesse levou a obtenção de algumas conclusões referentes a este assunto.

Dentre estas conclusões, verifica-se que o trecho de Rodovia com o maior número de ocorrências situa-se entre os quilômetros 90 e 95 (vide Figuras 5.4 a 5.7), e que neste trecho em particular, os intervalos correspondentes aos quilômetros 90 a 91 e 95 a 96 possuem as maiores frequências de ocorrências, o que indica uma maior suscetibilidade à ocorrência de escorregamentos e, portanto, um maior “risco”.

Quando os registros de escorregamentos foram analisados sob a ótica temporal, verificou-se que a década de 2000 apresentou um maior número de ocorrências (62), seguida da década de 1980 (42 ocorrências) e finalmente a década de 1990 (26 ocorrências). Este maior número de ocorrências na última década pode estar tanto associado a uma maior pluviometria como também a um maior cuidado na detecção e armazenamento dos registros das ocorrências, por parte do responsável pela Rodovia na naquele período, no caso a CRT (hipótese mais aceita pelo autor). Nas 125 ocorrências analisadas, verificou-se a predominância (78,6%) das ocorrências de escorregamentos deflagrados nos taludes de montante em relação às ocorrências em taludes de jusante (24,6%), sendo que naquelas preponderam os escorregamentos translacionais e nestas os processos de erosão nas saias de aterro, provavelmente associados a problemas no sistema de drenagem das pistas de rolamento. Pontos de Risco associados a corridas de detritos existem em 7 trechos da Rodovia (vide Figura 5.1) e, pelo menos, em dois segmentos (Km 87,000 e Km 101,000) as condições piezométricas dos solos existentes sob (e nas vizinhanças) as pistas de rolamento podem levar ao desenvolvimento de sérios processos de instabilização, com possibilidade de rupturas parciais ou totais daqueles segmentos da Rodovia.

O franco (55%) predomínio dos Eventos Simples em relação aos Eventos Importantes (27%) e Muito Importantes (18%) era, de certa forma, esperado pelo

autor. Entretanto, cabe observar que em Rodovias de um modo geral, um pequeno bloco rochoso (com volume total de 0,5m³, por exemplo) que, atinja uma das pistas de rolamento já é suficiente para poder ocasionar um acidente rodoviário de sérias consequências. Assim, mesmo os Eventos Simples podem gerar condições para que se estabeleça uma situação de alto risco potencial.

Por fim, ainda no âmbito do risco geológico-geotécnico rodovia cabe ressaltar que os investimentos sob a forma de benfeitorias gerais, em especial nos serviços de conservação / manutenção e do maior monitoramento geral efetuado pela CRT a partir da segunda metade da década de 1990 têm contribuído significativamente para mitigar o risco associado a escorregamentos. Em se verificando a continuidade deste processo de melhoria da Rodovia, é bem provável que sua vulnerabilidade em relação aos escorregamentos diminua ainda mais. A construção da terceira pista de rolamento, ora (2011) em execução, é um bom exemplo de benfeitoria da Rodovia, em que o alargamento da via, a estabilização de taludes laterais e a melhora do sistema de drenagem, em conjunto, deverão contribuir para a redução do risco associado a escorregamento.

7.4 – Sobre a Operação da Rodovia

Conforme já mencionado no Capítulo 1, o desenvolvimento da Tese está inserido em um projeto de pesquisa existente entre a COPPETEC e a CRT/ANTT com o título “Monitoramento das Condições Climáticas Associadas às Condições Geológico-Geotécnicas da Rodovia BR-116/RJ e seu Entorno”. Assim sendo, desde o início da pesquisa ocorreu um estreito relacionamento entre o autor, os orientadores e representantes da CRT e da ANTT, de tal modo que, mesmo antes da data de defesa da Tese, a CRT já havia iniciado testes para a utilização operacional da pluviometria crítica definida pela pesquisa. Fechamentos preventivos experimentais da Rodovia foram realizados nos dias 27/11/2009, 25/02/2010 e 27/12/2010, quando foram registradas elevadas acumuladas pluviométricas em 24 horas (respectivamente, 86,2mm/24h; 237,8 mm/24h e 115,8 mm/24h), sem, contudo, terem sido relatadas ocorrências de movimentos de massa nas três ocasiões.

Mais recentemente (2011), já de posse da curva pluviométrica crítica definida pela pesquisa, os procedimentos operacionais e níveis pluviométricos críticos de fechamento da via no trecho da Serra de Teresópolis, foram revisados e implantados pela CRT. A Figura 7.1 mostra a curva pluviométrica crítica adotada pela CRT a partir do segundo semestre de 2011. Esta curva considera a pluviometria (em mm) acumulada nas últimas 1 e 24 horas, sendo que a curva azul (superior) refere-se ao nível de fechamento da via e a curva vermelha (inferior),

com valores correspondentes a 75% da curva azul, indica a pluviometria para dar início aos procedimentos de mobilização das equipes da CRT (“equipes a postos”). Cabe ressaltar a utilização de valores limites (“patamares pluviométricos críticos”), tanto para a pluviometria acumulada na última hora (55 mm em 1 hora), quanto para a pluviometria acumulada nas últimas 24 horas (135 mm/24h). Uma vez efetivado o fechamento preventivo da via, esta condição assim deverá permanecer até que se verifiquem, durante pelo menos 2 horas consecutivas, registros de chuvas acumuladas em 1 hora com valores iguais ou menores que 5 mm. Nos protocolos adotados pela CRT para a reabertura da via ao tráfego, além dos parâmetros pluviométricos, também está prevista a realização de uma vistoria ao longo do trecho interditado, objetivando a certificação de que não existam situações de risco iminente associadas à possibilidade de deflagração de movimentos de massa capazes de atingir a rodovia.

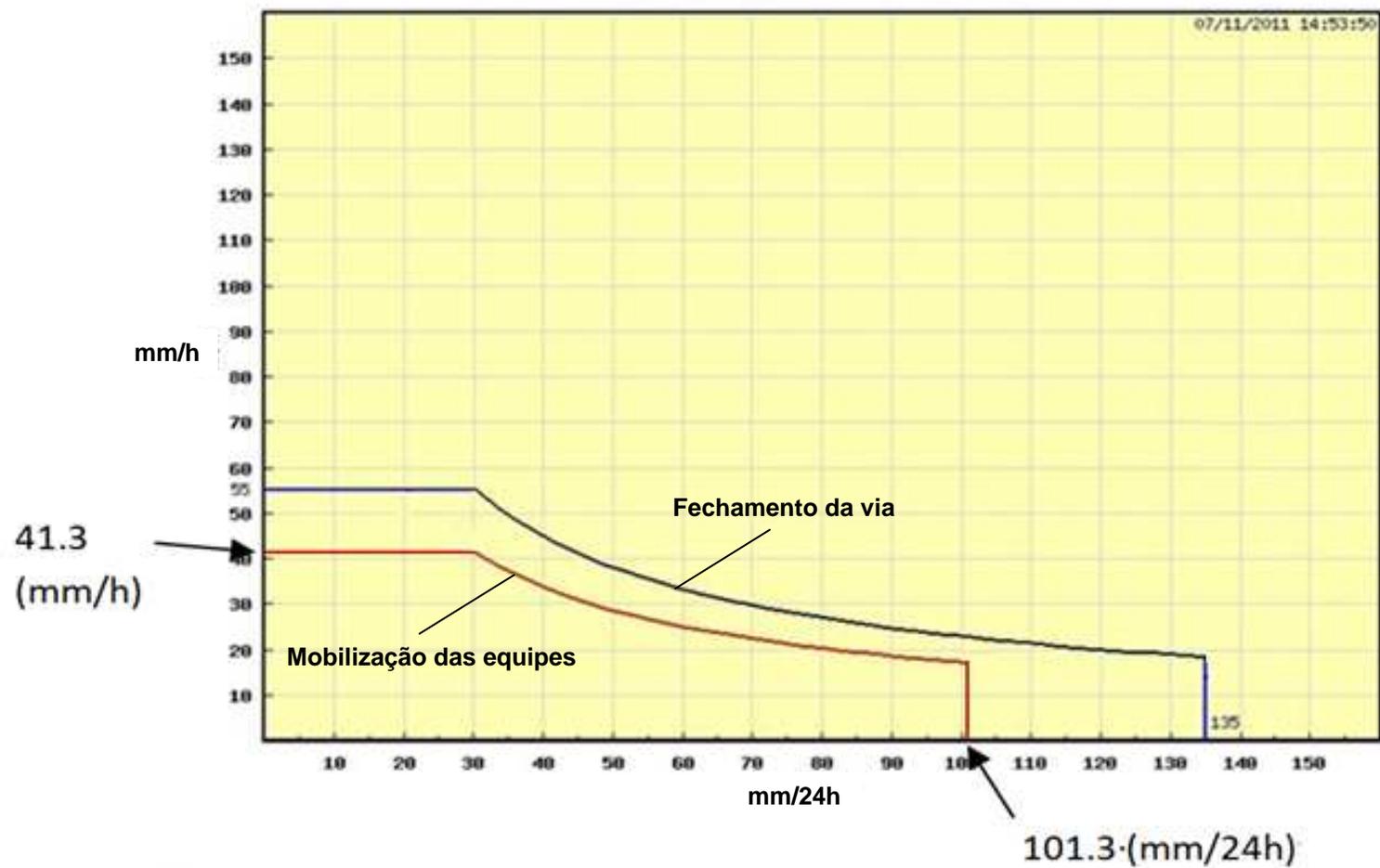


Figura 7.1 – Curva pluviométrica crítica adotada pela CRT a partir do 2º semestre de 2011 para o fechamento preventivo da BR 116 RJ no trecho da Serra de Teresópolis, entre os km 89 e 103.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADDISON, K. "Debris flow during intense rainfall in Snowdonia, North Wales: A preliminary survey", **Earth Surface Processes and Landforms Journal** v. 12, n. 5, pp. 561–566, Set./Out 1987.
- ALMEIDA, M.C.J, NAKAZAWA, A e TATIZANA, C. "Análise de correlação entre chuvas e escorregamentos no Município de Petrópolis, RJ". In: **Anais do 7º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia**, pp. 129-137, Poços de Caldas (MG), ABGE, 1993.
- ALEOTTI, P. "A warning system for rainfall-induced shallow failures". **Eng. Geol.** - v. 73, pp. 247–265, 2004.
- ALEOTTI, P., BALDELLI, P., BELLARDONE, G., *et al.* "Soil slips triggered by October 13-16, 2000 flooding event in the Piedmont Region (North West Italy): critical analysis of rainfall data". **Geologia Tecnica e Ambientale** v. 1, pp. 15–25, 2002.
- ALHEIROS, M. M., SOUZA, M. A. A., BITOUN, J., MEDEIROS, S. M. G. M., AMORIM JÚNIOR, W. M., 2003. **Manual de ocupação de morros da Região Metropolitana de Recife**. Recife: Fundação de Desenvolvimento Municipal (Recife). pp. 384. Disponível em <<http://www.proventionconsortium.org/toolkit.htm>>. Acesso em 27 de dez. de 2005, 12:30:00.
- ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres, **Manual de Monitoração dos Terraplenos e Estruturas de Contenção**, v. 5, pp. 30, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2008.
- ANNUNZIATI, A., FOCARDI, A., FOCARDI, P., *et al.* "Analysis of the rainfall thresholds that induced debris flows in the area of Apuan Alps – Tuscany, Italy (19 June 1996 storm)". In: **Proceedings of EGS Plinius Conference on Mediterranean Storms**, pp. 485–493, Maratea, Italy, 2000.
- AU, S. W. C. "Rain- induced slope instability in Hong Kong", **Engineering Geology, Hong Kong** v. 51, pp. 1-36, 1998.

- AUÁ, E. P., **Relatório Preliminar sobre as ocorrências na Rodovia BR 116/RJ, trecho Teresópolis - Parada Modelo, - referentes às chuvas dos dias 17 e 18 de janeiro de 1991**, DNER, pp. 33, 1991.
- AYALEW, L. "The effect of seasonal rainfall on landslides in the highlands of Ethiopia", **Bull Eng Geol Env** v. 58, pp. 9–19, 1999.
- BACCHINI, M., ZANNONI, A., "Relations between rainfall and triggering of debris-flow: a case study of Cancia (Dolomites, Northeastern Italy)", **Nat Hazard Earth Sys** v.3, pp. 71–79, 2003.
- BANDEIRA, A. P. N., **Parâmetros técnicos para gerenciamento de áreas de riscos de escorregamentos de encostas na região metropolitana do Recife**. D.Sc., Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil, 2010.
- BARATA, F.E. "Landslides in tropical Region of Rio de Janeiro". In: **Proceedings of 7th International Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering** v.2, 5^a sessão, pp. 507-516, Mexico City, Mexico, 1969.
- BARBERO, S., RABUFFETTI, D., ZACCAGNINO, M. "Una metodologia per la definizione delle soglie pluviometriche a supporto dell'emissione dell'allertamento". In: **Proceedings of 29th Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche**, pp. 211–217, Trento, Set. 2004.
- BIAFIORE, M., BRANCA, G., DI BLASIO, A., MARTONE, M., ONORATI, G., TRANFAGLIA, G. (2002) **Il monitoraggio ambientale dei territori campani a rischio di frane e di alluvioni: lo sviluppo della rete idropluviometrica del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale** (Relatório não publicado). In: <http://rainfallthresholds.irpi.cnr.it/references.htm>. Acesso em 12 jan.2010, 15:20:00.
- BONUCCELLI, T., **Estudos dos movimentos gravitacionais de massa e processos correlatos da área urbana de Ouro Preto / MG**. Tese de Doutorado em Engenharia Civil - Área de Geotecnia, USP, São Carlos / SP, 1999.
- BRAND, E.W., PREMCHITT, J., PHILLIPSON H. B. "Relationship between rainfall and landslides in Hong Kong". In: **Proceedings of 4th International Symposium on Landslides**, v.1, pp. 377–384, Toronto, Canada, 1984.

- BRAND, E.W. "Correlation between rainfall and landslides". In: **Proceedings of 12th International Conference on soil Mechanics and Foundation Engineering**, v. 1, pp. 70-72, Rio de Janeiro, 1989.
- BRAND, E.W. "*Slope Instability in Tropical Areas*". Keynote paper. In: **Proceedings of 6th International Symposium Landslides**, v.3, pp. 2031-2051, Christchurch, New Zealand, 1992.
- CAINE, N. "The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows". **Geogr Ann 62 A** - v.1-2, pp. 23–27, 1980.
- CAMPBELL, R. H. "Soil slips, debris flows, and rainstorms in the Santa Mônica Mountains and vicinity, southern California". In: **US Geological Survey Professional**, Paper # 851, pp. 51, U.S. Government Printing Office, Washington DC, 1975.
- CANNON, S.H., "Regional rainfall-threshold conditions for abundant debris-flow activity". In: **Landslides, Floods, and Marine Effects of the Storm of January 3-5, 1982, in the San Francisco Bay Region, California**, Professional Paper # 1434, pp 35–42, Ellen S.D. & Wieczorek G. F. eds., US Geological Survey, 1988.
- CANNON, S. H., GARTNER J. E., "Wildfire-related debris flow from a hazards perspective". In: **Debris flow Hazards and Related Phenomena** pp. 363–385, Jakob M. & Hungr O. eds., Springer Berlin Heidelberg, 2005.
- CASTRO, J. M. G., **Pluviosidade e Movimentos de Massa nas Encostas de Ouro Preto / MG**. Tese de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, 2006.
- CERIANI, M., LAUZI, S., PADOVAN, N. "Rainfall and landslides in the Alpine area of Lombardia Region, Central Alps, Italy". In: **Interpraevent Int. Symposium**. v.2, pp. 9–20, Bern, 1992.
- CERRI, L. E. S., **Riscos geológicos associados a escorregamentos: uma proposta para a prevenção de acidentes**. Tese de Doutorado, UNESP, Campus Rio Claro / SP, 1993.
- CHLEBORAD, A. F., **Preliminary Evaluation of a Precipitation Threshold for Anticipating the Occurrence of Landslides in the Seattle, Washington, Area**. In: US Geological Survey Open-File Report 03-463, 12p.2003.

- CLARIZIA, M., GULLÀ, G., SORBINO, G., “Sui meccanismi di innesco dei soil slip”. In: **International Conference Prevention of Hydrogeological Hazards: the Role of Scientific Research** v.1: pp. 585–597, L'Artistica Savigliano pub, Luino F ed., Alba, Italy, 1996.
- COROMINAS, J., “Landslides and climate”. Keynote lecture, In: **Proceedings 8th International Symposium on Landslides**, v.4, pp. 1–33, Bromhead, E., Dixon, N., Ibsen M. L. eds, A.A. Balkema, Cardiff, Pais de Gales, 2000.
- COROMINAS, J., MOYA, J. “Reconstructing recent landslide activity in relation to rainfall in the Llobregat River basin, Eastern Pyrenees, Spain”, **Geomorphology** v.30, pp. 79–93, 1999.
- CPRM (Companhia Brasileira de Recursos Minerais - Serviço Geológico do Brasil), **Mapa de Unidades Geomorfológicas do Estado do Rio de Janeiro, escala 1:250.000.** Mapa, 2000. Disponível em: ftp://ftp.cprm.gov.br/pub/pdf/rj/geologico/geologia_mpgeologica.pdf. Acesso em: 6 mai.2011, 13:00:00.
- CROSTA, G. B., FRATTINI, P., “Distributed modelling of shallow landslides triggered by intense rainfall”. **Nat Hazard Earth Sys Sci** v.3 (1-2), pp. 81–93, 2003.
- CROZIER, M. J., “Prediction of rainfall-triggered landslides: a test of the antecedent water status model”. **Earth Surf Proc Land** v. 24, pp. 825–833, 1999.
- CROZIER, M.J., EYLES, R. J., “Assessing the probability of rapid mass movement”. In: **Proceedings of 3rd Australia-New Zealand Conference on Geomechanics**, v. 6, pp. 247–251 Technical Groups, eds - New Zealand Institution of Engineers, Wellington, New Zealand, 1980.
- CRT - Concessionária Rio Teresópolis, **Relatório Inicial de Vistoria da Tálus Consultoria e Engenharia de Projetos Ltda. de 6/12/06 encaminhado à CRT.** pp. 20, 2006.
- DE VITA, P., “Fenomeni di instabilità della coperture piroclastiche dei monti Lattari, di Sarno e di Salerno (Campania) ed analisi degli eventi pluviometrici determinanti”. **Quaderni di Geologia Applicata** v. 7 (2): pp. 213–235, 2000.
- DELMONACO, G., IPPOLITO, F., MARGOTTINI, C. “The CEC Project. Meteorological Factors influencing slope stability and slope movement type: evaluation of hazard

prone areas”. In: **Proceedings of 1st Review Meeting of Hydrological and Hidrogeological Risks**, pp. 259-283, R. Casale ed., Official Publications of European Communities, Bruxelas, 1995.

D'ORSI, R., D'ÁVILA, C., ORTIGÃO, J.A.R., *et al.*, “Rio-Watch: The Rio de Janeiro Landslide Watch System”. In: **Anais da 2^a Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas (2^a COBRAE)** v.1, pp. 21-30, Rio de Janeiro, Brasil, 1997.

D'ORSI, R.N., FEIJÓ, R.L., PAES, N.M., “Rainfall and Mass Movements in Rio de Janeiro”. In: **Proceedings of 31st International Geological Congress**, (CD), Rio de Janeiro, Brasil. 2000.

D'ORSI, R.N.; PAES, N.M.; FEIJÓ, R.L. “2,500 Operational Days of Alerta Rio System: History and Technical Improvements of Rio De Janeiro Warning System For Severe Weather – 2004” – In: **Proceedings of 9th International Symposium on Landslides** v. 1, pp. 831-836, Rio de Janeiro, Brasil, 2004.

DRM - Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro, Figura. Disponível em:

http://www.caminhosgeologicos.rj.gov.br/novo/placas_jpg/Dedo_de_Deus.jpg.

Acesso em: 6 Jun. 2011, 9:00:00

EHRlich, M. – **Laudo Técnico Deslizamento de Aterro BR 116/RJ - Km 87 Teresópolis – Além Paraíba**, COPPE-UFRJ, pp.15, Rio de Janeiro, Brasil, 2005.

EHRlich, M., LIMA, B. - **Análise de Risco Geotécnico em Pontos Situados na Rodovia Rio-Teresópolis BR-116/RJ – COPPETEC - PEC11859 – Relatórios ilustrados**, Rio de Janeiro, Brasil, 2008, 2009, 2010 e 2011.

ELBACHÁ, A.T., CAMPOS, L.E.P., BAHIA, R.F.C., “Tentativa de correlação entre precipitação e deslizamentos na cidade de Salvador”. In: **Anais da 1^a Conferência Brasileira sobre estabilidade de Encostas (1^a COBRAE)** v.2, pp. 647-656, Rio de Janeiro, Brasil, 1992.

ENDO, T “**Probable distribution of the amount of rainfall causing landslides**”. Annual report, Hokkaido Branch, Govern. Forest Experiment Station, pp.123–136, Sapporo, Japan, 1970.

- EPIA AMBIENTAL - Estudos e Projetos de Integração Ambiental, **Estudo de Impacto Ambiental da Rodovia da BR-116/RJ**, pp. 358, Rio de Janeiro, Brasil, 2003.
- FEIJÓ R. L., D'ORSI R. N., PAES, N. M. "Chuvas e Movimentos de Massa no Município do Rio de Janeiro". In: **Anais da 3ª Conferência Brasileira de Estabilidade de Encostas (3ª COBRAE)**, p. 223-230 - Rio de Janeiro, Brasil, 2001.
- FERNANDES N. F., AMARAL C. P., **Geomorfologia e Ambiente**. 2ª Ed, Bertrand Brasil, Capítulo 3 - Movimentos de Massa: Uma Abordagem Geológica, pp. 37, 1998.
- FERREIRA, N. J., SANCHES, M., SILVA DIAS, M.A.F. **Composição da Zona de Convergência do Atlântico Sul em períodos de El Niño e La Niña**. Revista Brasileira de Meteorologia, Brasil, v. 19, n. 1, pp. 89-98, 2004. CLIMANÁLISE. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/>>. Acesso em: 6 Jun. 2010. 9:03:00.
- FIDERJ, Fundação Instituto de Desenvolvimento Econômico e Social do Rio de Janeiro. Indicadores climatológicos do estado do Rio de Janeiro. Governadoria do estado do Rio de Janeiro, Secretaria de Planejamento e Coordenação Geral (SEC-PLAN) Sistemas de Informação para o Planejamento Estadual (SIPE). Dados pluviométricos, pp. 156, 1978.
- FONSECA, M.J.G e CAMPOS, D.A - **Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo - Folhas Rio de Janeiro/Vitória/Iguape - SF23 / SF 24/ SG23 - MME/DNPM - Escala 1:1.000.000**, 1978.
- GABET, E.J., BURBANK, D.W., PUTKONEN, J.K., *et al* "Rainfall thresholds for landsliding in the Himalayas of Nepal". **Geomorphology** v.63, pp.131–143, 2004.
- GEORIO, Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro. Sistema Alerta Rio, 2009. Disponível em <http://www.rio.rj.gov.br/alertario>, Acesso em: 5 Mai. 2009,11:00:00.
- GIANNECCHINI, R., "Rainfall triggering soil slips in the southern Apuane Alps (Tuscany, Italy)". **Adv Geosci** v.2: pp. 21–24, 2005.
- FERREZ, G., **Colonização de Teresópolis (1730-1900)**, publicação nº 24 do Instituto Histórico Nacional, pp.146 - Iphan ed., Rio de Janeiro, Brasil, 1970.

- GLADE, T., CROZIER, M.J., SMITH, P., “Applying probability determination to refine landslide-triggering rainfall thresholds using an empirical ‘Antecedent Daily Rainfall Model’”. **Pure Appl Geophys**, v.157(6/8), pp. 1059–1079, 2000.
- GOVI, M., SORZANA, P. F., “Landslide susceptibility as function of critical rainfall amount in Piedmont basin (North-Western Italy)”. **Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica** v.14: pp. 43–60, 1980.
- GUIDICINI, G., IWASA O. Y., **Ensaio de correlação entre pluviosidade e escorregamento em meio tropical**. Publicação IPT/São Paulo, nº 1080, pp. 48, São Paulo (SP), 1976.
- GUIDICINI, G. e NIEBLE, C. M., **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**, São Paulo, Edgard Blücher, Ed. da Universidade de São Paulo, pp.170, 1976.
- GUZZETTI, F., PERUCCACCI, S., ROSSI, M. & STARK C.P., 2007. **Rainfall thresholds for the initiation of Landslides in Central and Southern Europe**. Disponível em:<<http://www.irpi.cnr.it>>. Acesso em: 06 Dez., 2007, 12:30:00.
- HEYERDAHL, H., HARBITZ, C. B., DOMAAS, U., *et al* “Rainfall induced lahars in volcanic debris in Nicaragua and El Salvador: practical mitigation”. In: **Proceedings of International Conference on Fast Slope Movements – Prediction and Prevention for risk Mitigation**, IC-FSM2003. Patron Pub, pp. 275–282, Napoli, Itália, 2003.
- HIRANO, C., FILHO A. R., SOUZA A.G.- **Carta de Declividade e Erosão das Terras do Estado do Rio de Janeiro**. Secretaria de Planejamento do Governo do Estado do Rio de Janeiro - Esc. 1:800.000 – Cartografia por GEOCARTA S/A, 1980.
- HUNT, R. E. - **Geotechnical Engineering Investigation Handbook**, 2ª Ed. Taylor & Frances Group., pp. 1065, 2005.
- IDE, F. S., MACEDO, E. S. Investigação da relação chuva e escorregamento no município de Campinas (SP). In: **Anais do 11º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental** (em CD), Florianópolis, Santa Catarina, 2005.
- INEA, Instituto Estadual do Ambiente. Link Sistema de Alerta de Cheias, 2011. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br>> Acesso em: 8 Jul. 2011, 20:00:00.

- INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. Link: Rede de Estações, 2011. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em: 8 Jul. 2011, 20:30:00.
- INMET, Instituto Nacional de Meteorologia, Conjunto de Planilhas Eletrônicas s/nº do 6º DISME – **Análise Pluviométrica: Estações Teresópolis N°83744 (1961 a 2005) e Parque Nacional de Teresópolis N°83806 (1943 a 1980)**, Rio de Janeiro, Brasil, 2006.
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia, CPTC/INPE - Centro De Previsão De Tempo E Estudos Climáticos. Figura, 2007. Disponível em: <http://www.deolhonotempo.blogspot.com/2007/10/brasil-primeira-zcas-da-temporada.html>. Acesso em: 6 Mai. 2011, 12:00:00.
- INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. Dados pluviométricos, 2008. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/sonabra/maps/automaticas.php>. Acessos regulares entre 2006 a 2010.
- INNES, J.L., “Debris flows”. **Prog Phys Geog** - v. 7, pp. 469–501, 1983.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – **Folha Petrópolis** - 2ª Edição, Escala 1:50.000, 1979a.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – **Folha Itaboraí** - 2ª Edição, Escala 1:50.000, 1979b.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – **Folha Itaipava** - 3ª Edição, Escala 1:50.000, 1982.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – **Folha Teresópolis** - 2ª Edição, Escala 1:50.000, 1983.
- JAKOB, M., WEATHERLY, H., “A hydroclimatic threshold for landslide initiation on the North Shore Mountains of Vancouver, British Columbia”, **Geomorphology** v.54, pp. 137–156, 2003.
- JIBSON, R. W., **Debris flow in southern Porto Rico. Geological Society of America**, Special Paper nº. 236, pp. 29–55, 1989.
- KANJI, M. A., MASSAD, F., CRUZ, P. T., “Debris flows in areas of residual soils: occurrence and characteristics”. In: **Proceedings of International Workshop on Occurrence and Mechanisms of Flows in Natural Slopes and Earthfills. IW-FLOWS 2003**, Associazione Geotecnica Italiana - v.2, pp.1–11, Sorrento, Italia, 2003.

- KAY, J. N., CHEN, T. "Rainfall-landslide relationship for Hong Kong". In: **Proceedings of ICE - Geotechnical Engineering**, v.113, Issue 2, pp. 117-118, 1995.
- LEE, B. Y., **Hidrometeorological Aspects of the rainstorms in May 1982**, Technical Note No. 68, Royal Observatory, Hong Kong, pp. 71, December 1983. Disponível em: Crown Copyright Reserved in <http://www.weather.gov.hk/publica/tn/tn068.pdf>. Acesso em: 9 Jul. 2011, 20:40:00.
- LEE, B. Y., **A Real Time Rainfall Data Acquisition System**, Technical Note No. 72, Royal Observatory, Hong Kong, pp. 35, July 1984. Disponível em: Crown Copyright Reserved in <http://www.weather.gov.hk/publica/tn/tn072.pdf>. Acesso em: 9 Jul. 2011, 20:40:00.
- LIMONGI, C., LIMONGI, J. 1998, **Pesquisa Histórica – I – “Os Sertões do Rio Preto”**. Disponível em: <http://www.ihp.org.br> Acesso em: 9 Jul. 2011, 20:40:00.
- LUMB, P., "Slope failure in Hong Kong". **Quarterly Journal of Engineering Geology** v. 8: pp. 31–65, 1975.
- MARCHI, L., ARATTANO, M., DEGANUTTI, A. M., "Ten years of debris-flow monitoring in the Moscardo Torrent (Italian Alps)", **Geomorphology** v.46, pp.1–17, 2002.
- QUADRO, M. F. L., MACHADO, L. H. R., CALBETE, S., *et al*, 1996, "Climatologia de Precipitação e Temperatura no Período 1986-1996" - Artigo No. 9 da **Revista Climanálise – Edição Comemorativa dos 10 anos – CPTEC/INPE** . Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/>. Acesso em: 19 Jan.2008, 15:00:00.
- MME, Ministério de Minas e Energia, **Mapa de Vegetação das Folhas Rio de Janeiro e Vitória - SF 23 e SF24** - Escala 1:1.000.000, produzido pela Divisão de Geomorfologia do Projeto RADAMBRASIL-, 1983a.
- MME, Ministério de Minas e Energia, **Mapa Geomorfológico das Folhas Rio de Janeiro e Vitória - SF 23 e SF24** - Escala 1:1.000.000, produzido pela Divisão de Geomorfologia do Projeto RADAMBRASIL-, 1983b.
- NUNES, A. J. C., **Relatório Tecnossolo RE 1440/79 (20.2)** de 05/04/1979, 1979.

- NUNES, A. J. C., "Recuperação de estradas sujeitas a chuvas intensas", **Boletim da Sociedade de Engenharia da Bahia**, v.1-1, pp.3-12, 1982.
- NUNES, A. J. C., "Landslides in soils of decomposed rock due to intense rainstorms". In: **Proceedings of 7th International Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering**, v.2. 5^a sessão, pp. 547-554, Mexico City, Mexico 1969.
- NUNES, A. J. C., BRANDÃO, C. A., DIAS, P. H. V., FERNANDES, C. E. D. M., "Landslides due to intense tropical rainfall in Brazil". In: **Proceedings of 7th Panamerican Conference on soil Mechanics and Foundation Engineering**, v.1, pp. 291-304, Vancouver, Canada, 1983.
- ONODERA, T., YOSHINAKA, R., KAZAMA, H., "Slope failures caused by heavy rainfall in Japan". In: **Proceedings of 2nd International Congress of the International Association of Engineering Geology**, v.11: pp. 1–10, São Paulo, Brasil, 1974.
- PARIZZI, M. G., SEBASTIÃO, C. S., VIANA, C. S., *et al.* "Correlações entre chuvas e movimentos de massa no município de Belo Horizonte", **Revista do Departamento de Geografia e do Programa de Pós-Graduação em Geografia IGC-UFMG** v.6, nº2, pp.49-69, Dez. 2010
- PARONUZZI, P., COCCOLO, A., GARLATTI, G., "Eventi meteorici critici e debris flows nei bacini montani del Friuli". **L'Acqua, Sezione I/Memorie**, pp. 39–50, 1998.
- PASUTO, A., SILVANO, S., "Rainfall as a triggering factor of shallow mass movements. A case study in the Dolomites, Italy". **Environ Geol**, v.35(2-3): pp. 184-189, 1998.
- PEDROSA, M. G. A., **Análise de Correlações entre pluviometria e escorregamentos de taludes**, Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, pp. 343, Rio de Janeiro (RJ), Brasil, 1994.
- PEDROZZI, G., "Triggering of landslides in Canton Ticino (Switzerland) and prediction by the rainfall intensità and duration method". **Bull Eng Geol Environ** v.63(4), pp. 281–291, 2004.
- PICHLER, E., "Aspectos geológicos dos escorregamentos de Santos", **Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia**, v.6-(2), pp. 69-77, São Paulo, Brasil, set.1957.

- QUADRO, M. F. L., ABREU, M. L., “Estudos de episódios de Zonas de Convergência do Atlântico Sul sobre a América do Sul”. In: **Anais do 2º Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Belo Horizonte (MG), Brasil, 1994, Disponível em: http://www.cbmet.com/edicoes.php?pageNum_Recordset_busca=2&totalRows_Recordset_busca=255&cgid=20&imageField2.x=50&imageField2.y=4. Acesso em: 19 Fev.2011, 16:00:00
- ROSIER, G. F., “A Geologia da Serra do Mar, entre os picos de Maria Comprida e do Desengano (Estado do Rio de Janeiro)”, **Boletim 166 da Div.Geol. Min. do Dep. Nac. Prod. Min.** pp. 58, 1957.
- SALAROLI, I. S., **Movimentos de Massa no Município de Vitória – ES: Inventário, caracterização e indicativos de um modelo comportamental**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, pp.148, Vitória, Espírito Santo, 2003.
- SALCONSULT Engenharia, **Relatório SALCONSULT Engenharia para a CRT – Ref.: S 2598**, pp.8, jun/2005, Rio de Janeiro, Brasil, 2005.
- SANDERSEN, F., BAKKEHØI, S., HESTNES, E., LIED, K., **The influence of meteorological factors on the initiation of debris flows, rockfalls, rockslides and rockmass stability**. In: Senneset (Ed.), *Landslides*. pp. 97-114, Rotterdam, Holanda, 1996.
- SISTEMA ALERTA RIO. Dados Pluviométricos, 2011. Disponível em: <http://www0.rio.rj.gov.br/alertario>. Acesso em: 9 Jul. 2011, 21:00:00.
- SHARPE, C. F. S., **Landslides and related phenomena**, New York. Columbia University Press, pp.137, 1938.
- TATIZANA, C., OGURA, A. T., CERRI, L. E. S., ROCHA, M. C. M., “Análise de Correlação entre Chuvas e Escorregamentos – Serra do Mar, Município de Cubatão” In: **Anais do 5º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia**, v. 2, pp. 225-236, ABGE, São Paulo (SP), Brasil, 1987a.
- TATIZANA, C., OGURA, A. T., CERRI, L. E. S., ROCHA, M. C. M., Modelamento numérico da análise de correlação entre Chuvas e Escorregamentos aplicado às encostas da Serra do Mar. In: **Anais do 5º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia**, v. 2, pp. 237-248, ABGE, São Paulo (SP), Brasil, 1987b.

- TECNOSOLO (TECNOSOLO Engenharia e Tecnologia de Solos e Materiais S.A),
Relatório TECNOSOLO RE. 3497/91 de 25/01/1991. pp.4, Rio de Janeiro,
 Brasil, 1991.
- VARGAS Jr, E., COSTA FILHO, L.M., PRADO CAMPOS, L.E.. “A study of the
 relationship between the stability of slopes in residual soils and rain intensity”. In:
 Proceedings of **International Symposium on Environmental Geotechnology**,
 pp.491-500, Bethlehem – Pennsylvania, EUA, 1986.
- VARGAS, M., Discussion, In: **Proceedings of 4th Panamerican Conference on soil
 Mechanics and Foundation Engineering**, pp. 135-143, Porto Rico, 1971.
- WIECZOREK, G. F., **Landslide triggering mechanisms.** In: Landslides: Investigation
 and Mitigation (Turner AK, Schuster RL eds). Washington DC: Transportation
 Research Board, National Research Council, Special Report, pp. 76-90, 1996.
- WIECZOREK, G. F., GLADE, T., “Climatic factors influencing occurrence of debris
 flows”. In: **Debris flow Hazards and Related Phenomena**, Jakob M, Hungr O,
 Eds., Springer Berlin Heidelberg, pp. 325–362, 2005.
- WIECZOREK, G.F., MORGAN, B. A., CAMPBELL, R.H., “Debris flow hazards in the
 Blue Ridge of Central Virginia”. **Environ Eng Geosci**, v. 6, pp. 3 - 23, 2000.
- WILSON, R. C. “Rainstorms pore pressure, and debris flows: a theoretical framework”
 In: **Landslides in a semi-arid environment**, Morton DM, Sadler PM, Eds.,
 California: Publications of the Inland Geological Society, 2: pp. 101-117, 1989.
- WILSON, R. C., “Normalizing rainfall/debris-flow thresholds along the U. S. Pacific coast
 for long-term variations in precipitation climate”. In: **Proceedings 1st International
 Conference on Debris-Flow Hazard Mitigation**, Chen CL (ed.), American
 Society of Civil Engineers, pp. 32–43, San Francisco (CAL), EUA, 1997.
- WILSON, R. C., “Climatic variations in rainfall thresholds for debris-flows activity”. In:
Proceedings of 1st Plinius Conference on Mediterranean Storms, Claps P,
 Siccardi F (eds.), pp. 415-424, Maratea, Itália, 2000.
- WILSON, R.C., JAYKO, A. S., **Preliminary Maps Showing Rainfall Thresholds for
 Debris-Flow Activity in San Francisco Bay Region, California.** In: Report 97-
 745 F US Geological Survey Open-File, pp. 20, 1997.

WILSON, R.C. , TORIKAI, J.D., ELLEN, S.D., **Development of rainfall thresholds for debris flows in the Honolulu District, Oahu.** In: Report 92-521, US Geological Survey Open-File, pp. 45, 1992.

XAVIER, H., **Percepção geográfica dos deslizamentos de encostas em áreas de risco no município de Belo Horizonte, MG,** Tese de Doutorado em Geografia. Universidade Estadual Paulista, , pp. 222, Rio Claro (SP), Brasil, 1996.

ZEZERE, J.L., RODRIGUES, M.L., “Rainfall thresholds for landsliding in Lisbon Area (Portugal)”. In: Rybar J, Stemberk J, Wagner P, (eds.), **Landslides,** Lisse: A.A. Balkema, pp. 333–338, 2002.

**Anexo 1 – CARACTERIZAÇÃO
FOTOGRAFICA**



Figura A1.1 - km 86,400 – Local onde ocorreu um acidente (linha tracejada) geológico no trecho de encosta à montante do Condomínio “Comari” em 18/01/1991 (Ev 7. Oc. 22).



Figura A1.2 - km 87 – Local de ocorrência de um grande acidente (linha tracejada) (Ev. 13 Oc. 77 08/02/2005). Ali foi instalada uma instrumentação geotécnica (piezômetros e inclinômetros) e construído um sistema de drenagem sob e a jusante da pista. O maciço rochoso aflora a montante do acostamento.



Figura A1.3 – Vista panorâmica do trecho inicial do km 92.



Figura A1.4- Km 88 (parte inicial) – Ocorrências de taludes rochosos verticais, escavados para a implantação da via e cujas bases se encontram muito próximas da pista. Foto sentido Além Paraíba (MG).



Figura A1.5 - Km 88 (parte central) – Ocorrências de cortes rochosos verticais muito próximos da pista. Foto sentido Rio de Janeiro.



Figura A1.6 - Km 89 –Trecho de planalto logo após o final da subida da Serra, com baixo potencial para ocorrências de escorregamentos. Foto sentido Rio de Janeiro.



Figura A1.7 - Km 89,500 – Região do Alto do Soberbo (final da subida da Serra). Presença de obras de contenção e de escorregamentos a montante e a jusante da pista. Entre os cem metros finais do Km 89 e os duzentos iniciais do Km 90, existe um paredão rochoso a montante da pista com alta suscetibilidade escorregamentos.



Figura A1.8 - Vista Panorâmica da Estrada com indicação (círculo amarelo) do trecho da Curva do Garrafão, entre os Km 93 e 95, que foi duramente atingido nos Ev. 4 e Ev.7 (vide Cap. 5).



Figura A1.9 - Km 90,300 – Próximo ao restaurante Paraíso das Plantas. Ocorrência de depósito de tálus / colúvio recobrimdo o trecho de encosta a montante e a jusante da pista. Em alguns segmentos no final do Km 90, existem fossos entre o pé do talude e a pista suficientes para evitar que escorregamentos de pequeno porte atinjam a pista.



Figura A1.10 - Km 91 (“Parada da Santinha” – seta) – Cruzamento da pista com um vale muito encaixado. Neste local se observa a presença de obras (Fig. 2.21) para mitigação do risco associado a corridas de detritos. Esta área foi atingida por uma corrida de detritos em 02/12/1981 (Ev. 4 Oc. 18)

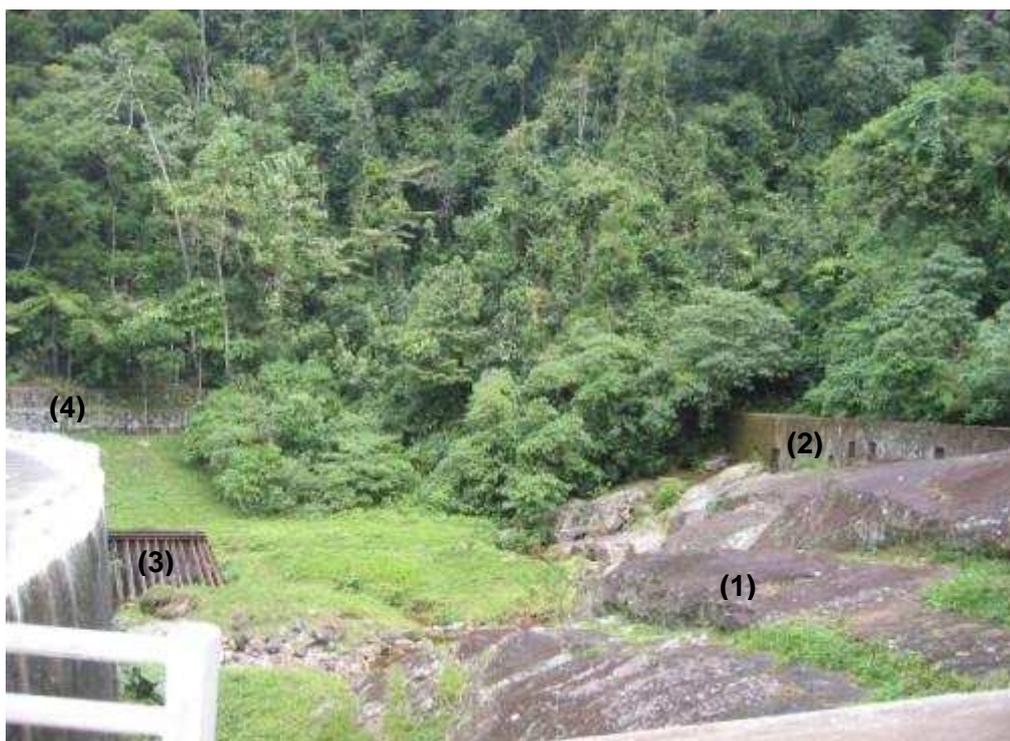


Figura A1.11 - Km 91,200 – Outra vista da região ao lado da Parada da Santinha com presença de intervenções para a mitigação do risco associado à corrida de detritos: bacias de retenção (1), muros de concreto vazado (2), “armadilha japonesa” (3) (debris breaker) e muros de gabião (4).



Figura A1.12 - Km 91,200 – Presença de depósito de tálus/colúvio ao longo dos cortes da estrada. Neste trecho as declividades dos taludes de montante são muito acentuadas. Foto sentido Teresópolis.



Figura A1.13 - Km 91,600 – Obra de contenção (cortina ancorada) estabilizando talude escavado em depósito de tálus/colúvio que se movimentou na década de 1980. Nos últimos 200 metros desse quilômetro, observaram-se trechos de afloramento de lascas rochosas, com possibilidade de escorregamentos planares sobre a rocha.



Figura A1.14 - Km 92,300 – Corte rochoso ao longo do KM 92. Neste trecho, existem segmentos onde o afastamento do pé do talude em relação à pista é quase inexistente, potencializando significativamente o risco em relação a desprendimentos seguidos de quedas de lascas e fragmentos rochosos.



Figura A1.15 - Km 92,600 – Corte de perfil misto rocha (afloramento na parte inferior do talude) e solo (residual sob colúvio, nas partes média e superior do talude).



Figura A1.16 - Km 93,500—Corte, em rocha, recoberto por vegetação, com possibilidade de queda de blocos e com algumas intervenções (contrafortes ancorados) para mitigação do risco. Trecho próximo da Curva do Garrafão, onde a pista é muito sinuosa.



Figura A1.18 - km 94,200 – Trecho inicial do km 94 onde existem várias obras de contenção. Nesta região ocorreram graves acidentes nos eventos Ev.4 e Ev.7.



Figura A1.19 - Km 94,5 – Posto de Combustíveis Garrafão, que foi seriamente atingido em 02/12/1981 (Ev. 4 - Oc. 18), causando inúmeras vítimas fatais. A seta aponta para uma estrutura de impacto que foi construída após aquele acidente geológico.

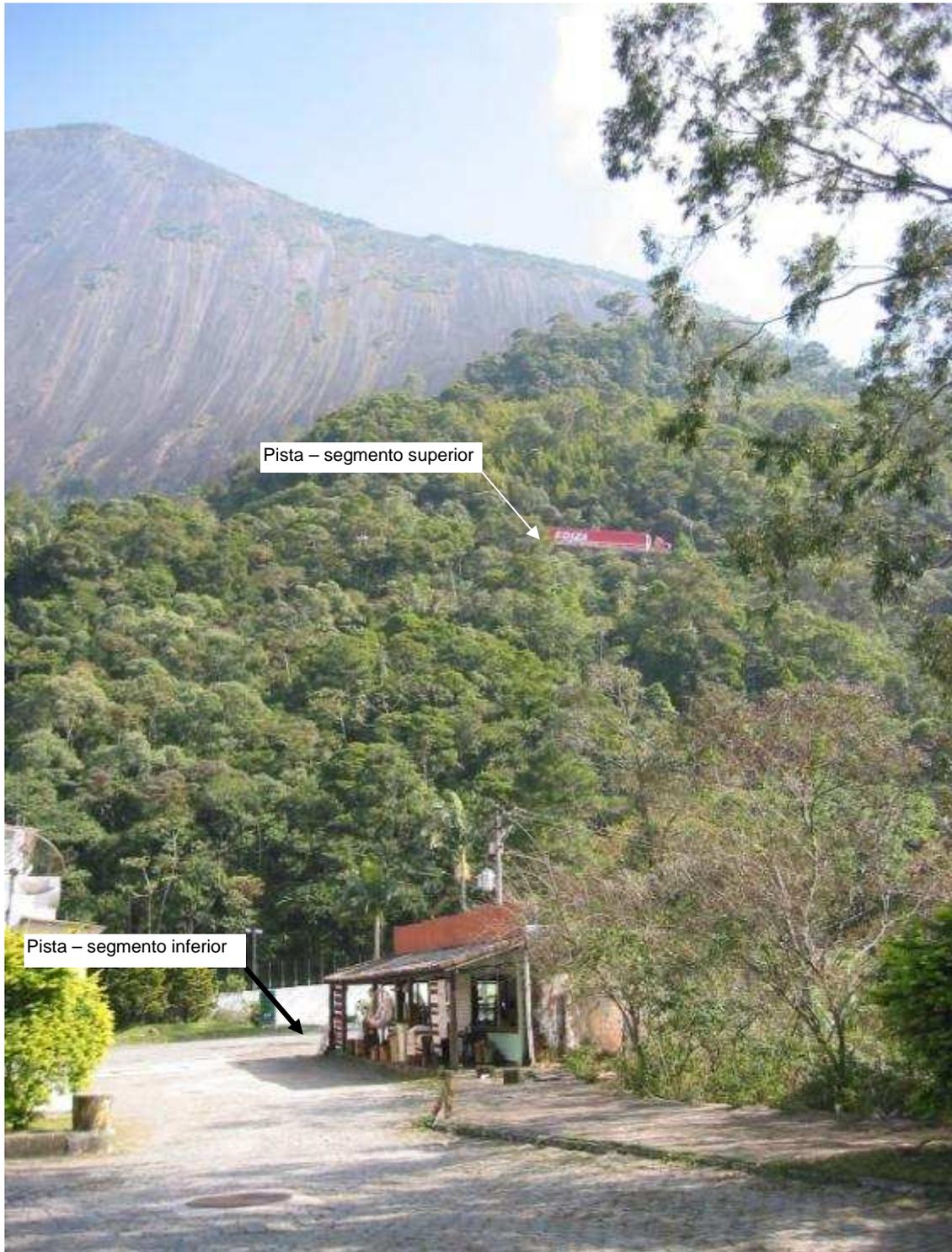


Figura A1.20 - Escalavrado (escarpa rochosa) - Obras de contenção da base e a estrada acima. Foto tirada do Posto do Garrafão. Trecho que recebe volume de água muito grande proveniente do Morro do Escalavrado. Observar a existência de 2 segmentos da pista na mesma vertente. Deste modo, um escorregamento iniciado no trecho a jusante do segmento superior pode atingir e deflagrar movimentações no talude a montante do segmento inferior. Este fenômeno ocorreu em 02/12/1981 (Ev. 4 - Oc. 18).



Figura A1.21 - Km 95,300 – Trecho com presença de talude misto, com afloramento rochoso na base e uma camada de solo nas porções superior e média. Foto sentido Teresópolis.



Figura A1.22 – Outra vista do Km 95,300 com altas declividades na superfície do trecho de encosta a montante da pista. Foto sentido Rio de Janeiro.



Figura A1.23 - Km 96,100 – Trecho caracterizado pela presença de um talude misto (corte com afloramento rochoso na base e de solo nas porções superior e média) com possibilidade de ocorrência de escorregamentos planares, caracterizando uma situação similar àquela existente no Km 95. Foto sentido Rio.

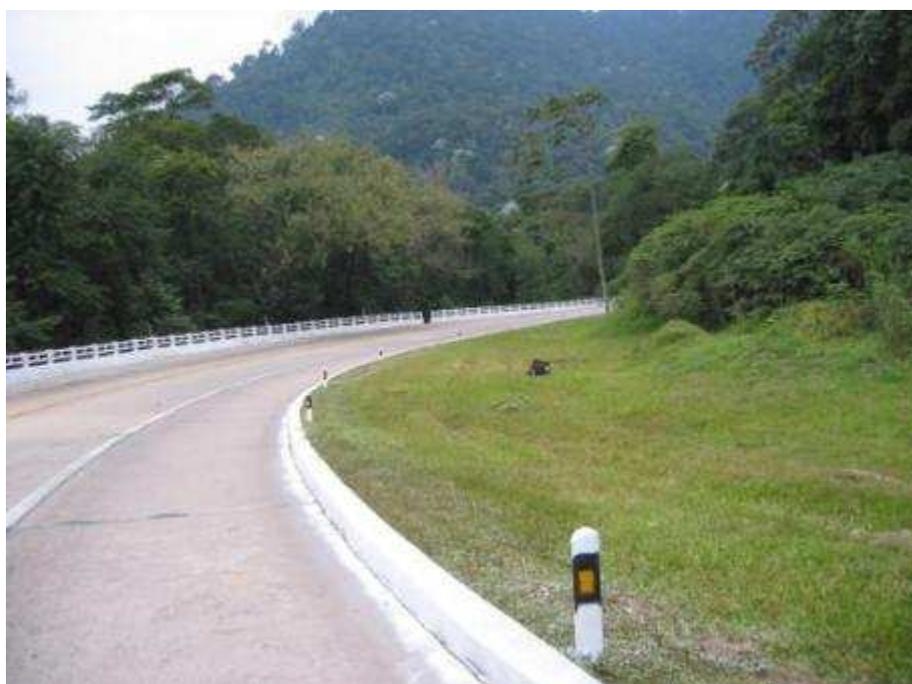


Figura A1.24 - Km 96,700 – Situação em que o risco geológico é mitigado em função da existência de espaço livre (para dissipação de energia) entre a pista e o pé do talude de montante.



Figura A1.25 - Km 97,400 - Trecho caracterizado pela presença de um talude misto (solo sobre rocha) com alta suscetibilidade à ocorrência de escorregamentos planares.



Figura A1.26 - Km 98,300 – Trecho de 200m com intercalações de segmentos apresentando variadas larguras de faixas de afastamento entre o pé do talude e a pista. Os Eventos Pluviométricos Ev.4 (02/12/1981) e Ev.7 (17-18/01/1991) provocaram importantes acidentes geológicos (linha tracejada) os Km 98 e 99, sendo a trajetória de um deles indicada pela linha amarela tracejada.



Figura A1.27 - Km 99 – Presença de fosso (seta amarela) ao longo da pista mitigando, significativamente, o risco de atingimento da pista por blocos rochosos e pequenos escorregamentos terrosos deflagrados no talude de montante.

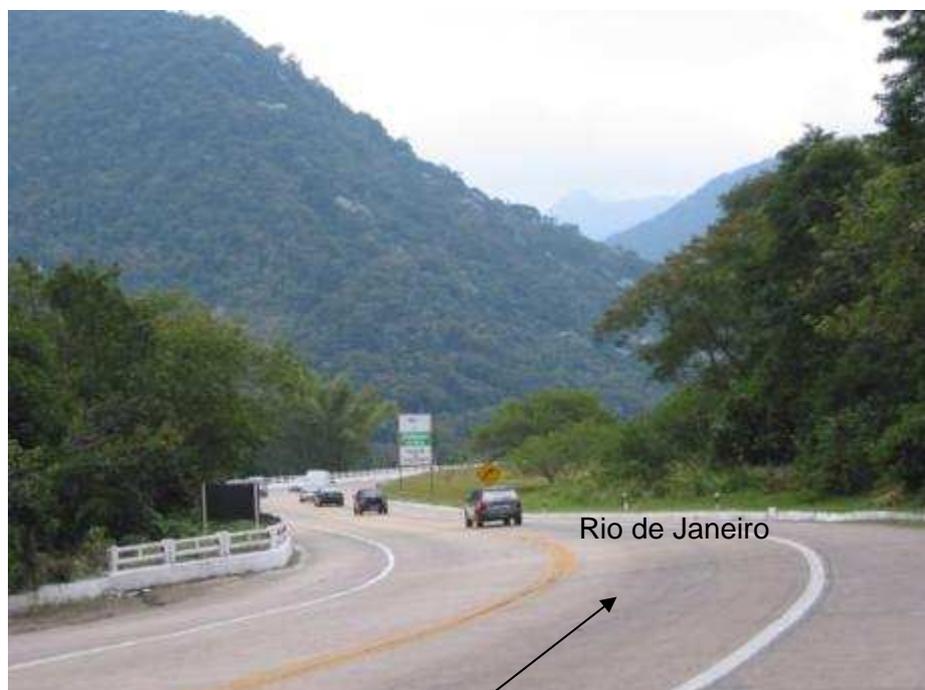


Figura A1.28 - Km 99,500 – Trecho com menor risco associado a escorregamentos em função da presença de largas faixas laterais à pista que podem funcionar com área de dissipação de energia.



Figura A1.29 - Km 100 – Início do desenvolvimento de processos erosivos (oval amarelo tracejado) e diminuição progressiva do espaço livre entre o pé do talude e a pista, conseqüentemente aumentando o risco geológico.



Figura A1.30 - Km 100,700 – Ocorrência de depósitos de tálus/colúvio em talude escavado ao longo da pista. A partir desse quilômetro, observa-se o aumento da densidade populacional da estrada, com condomínios de casas próximos às pistas de rolamento.



Figura A1.31 - Km 101 – Trecho com lenta e intermitente movimentação de depósito coluvionar atravessado pela pista de rolamento, que sofre as consequências da movimentação apresentando recalques e fissuras. O trecho é objeto de pesquisa pela COPPE e conta com instrumentação geotécnica. A partir de meados do ano de 2010, como o início da construção da 3ª pista, este trecho foi palco de fortes intervenções, com nivelamento, recapeamento e drenagem, visando sua estabilização.



Figura A1.32 - Km 101,400 – Ocorrência de depósito de talus/colúvio nos dois lados da pista, que foi escavado para implantação da Rodovia. Em início de 2011, face a construção da 3ª pista, o trecho foi escavado e os taludes estabilizados com obras de contenção (cortinas ancoradas, concreto projetado, etc.).



Figura A1.33 - Km 101,600 – Ocorrência de depósito de tálus/colúvio nos dois lados da pista, que foi escavado para implantação da Rodovia. A construção da 3ª pista, em 2011, neste segmento também demandou a execução de escavações e estabilização dos taludes escavados. O rio Bananal cruza o trecho final do Km 101.



Figura A1.34 – Segmento do Km 102 com presença de depósito de coluvionar nos taludes ao longo da pista e baixo risco potencial (pequena freqüência de ocorrências). A partir deste trecho da Rodovia em direção ao Rio de Janeiro, começa a ser mais intensa a presença de moradias e comércio. Já no quilômetro 103, observa-se alta densidade populacional e praticamente inexistência de taludes.

**Anexo 2 – REGISTROS
PLUVIOMÉTRICOS**

Tabela A2.1 – Pluviometria com base em registros pluviométricos horários (mm acumulados na última hora antes da ocorrência) apenas referente às chuvas sem registros de ocorrências e suas respectivas acumuladas antecedentes.

Chuvas sem Ocorrências														
Obs.: os dados da estação "Teresópolis" foram normalizados com um fator de x1,45.														
Dados utilizados e normalizados										Dados sem normalização				
	Estação	Data	Hora (UTC)	Hora (Local)	mm/h	mm/24h	mm/48h	mm/72h	mm/96h	mm/h	mm/24h	mm/48h	mm/72h	mm/96h
1	Teresópolis	23/12/2006	20	-	39,2	8,4	29,9	29,9	31,6	27,0	5,8	20,6	20,6	21,8
2	Teresópolis	23/12/2006	21	-	8,4	47,3	69,0	69,0	70,8	5,8	32,6	47,6	47,6	48,8
3	Teresópolis	25/12/2006	20	-	43,2	8,4	63,2	71,6	93,1	29,8	5,8	43,6	49,4	64,2
4	Teresópolis	08/01/2007	21	-	29,0	16,5	16,5	28,7	76,9	20,0	11,4	11,4	19,8	53,0
5	Teresópolis	13/01/2007	22	-	49,0	13,3	13,6	16,0	27,0	33,8	9,2	9,4	11,0	18,6
6	Teresópolis	27/01/2007	4	-	49,0	16,2	19,4	21,8	27,8	33,8	11,2	13,4	15,0	19,2
7	Teresópolis	02/02/2007	19	-	29,6	5,5	15,4	50,5	78,6	20,4	3,8	10,6	34,8	54,2
8	Teresópolis	14/02/2007	23	-	31,6	11,9	13,9	44,1	88,2	21,8	8,2	9,6	30,4	60,8
9	Teresópolis	24/03/2007	20	-	53,1	5,5	6,4	25,2	27,0	36,6	3,8	4,4	17,4	18,6
10	Teresópolis	17/04/2007	18	-	29,3	5,8	5,8	6,7	7,3	20,2	4,0	4,0	4,6	5,0
11	Teresópolis	03/11/2007	19	-	98,3	5,2	6,1	6,1	6,1	67,8	3,6	4,2	4,2	4,2
Continua na próxima página														

Dados utilizados e normalizados										Dados sem normalização				
	Estação	Data	Hora (UTC)	Hora (Local)	mm/h	mm/24h	mm/48h	mm/72h	mm/96h	mm/h	mm/24h	mm/48h	mm/72h	mm/96h
12	Teresópolis	08/12/2007	18	-	31,0	54,2	56,8	72,2	73,1	21,4	37,4	39,2	49,8	50,4
13	Teresópolis	13/12/2007	0	-	30,7	15,4	15,4	18,0	18,0	21,2	10,6	10,6	12,4	12,4
14	Teresópolis	06/01/2008	2	-	33,6	4,4	4,4	4,4	4,4	23,2	3,0	3,0	3,0	3,0
15	Teresópolis	10/01/2008	21	-	50,5	4,6	8,4	8,7	18,3	34,8	3,2	5,8	6,0	12,6
16	Teresópolis	03/02/2008	3	-	75,4	3,8	24,4	26,4	65,8	52,0	2,6	16,8	18,2	45,4
17	Teresópolis	03/02/2008	5	-	5,8	119,8	139,5	142,4	178,9	4,0	82,6	96,2	98,2	123,4
18	Teresópolis	22/02/2008	6	-	30,7	10,4	12,2	36,0	56,6	21,2	7,2	8,4	24,8	39,0
19	Teresópolis	06/03/2008	22	-	44,7	1,7	1,7	1,7	6,7	30,8	1,2	1,2	1,2	4,6
20	Teresópolis	14/03/2008	2	-	33,1	20,0	43,8	67,3	68,4	22,8	13,8	30,2	46,4	47,2
21	Teresópolis	14/03/2008	10	-	2,3	86,4	99,8	133,7	135,1	1,6	59,6	68,8	92,2	93,2
22	Teresópolis	04/11/2008	23	-	37,7	5,2	27,3	27,3	33,4	26,0	3,6	18,8	18,8	23,0
23	Teresópolis	05/11/2008	3	-	0,3	58,6	83,2	85,3	86,7	0,2	40,4	57,4	58,8	59,8
24	Teresópolis	26/11/2008	20	-	30,7	34,5	64,4	109,6	140,7	21,2	23,8	44,4	75,6	97,0
25	Teresópolis	26/11/2008	22	-	0,3	56,6	78,6	124,1	171,4	0,2	39,0	54,2	85,6	118,2
26	Teresópolis	02/12/2008	19	-	64,1	7,5	15,1	32,2	47,0	44,2	5,2	10,4	22,2	32,4
27	Teresópolis	25/12/2008	7	-	57,1	14,5	14,5	16,2	18,0	39,4	10,0	10,0	11,2	12,4

Continua na próxima página

Dados utilizados e normalizados										Dados sem normalização				
	Estação	Data	Hora (UTC)	Hora (Local)	mm/h	mm/24h	mm/48h	mm/72h	mm/96h	mm/h	mm/24h	mm/48h	mm/72h	mm/96h
28	Teresópolis	14/01/2009	20	-	30,5	16,0	16,0	16,0	16,0	21,0	11,0	11,0	11,0	11,0
29	Teresópolis	14/01/2009	22	-	2,0	46,7	46,7	46,7	46,7	1,4	32,2	32,2	32,2	32,2
30	Garrafão	27/01/2009	-	23:36	20,8	10,2	13,8	28,0	50,6	-	-	-	-	-
31	Garrafão	02/02/2009	-	16:36	28,4	3,6	9,8	40,4	40,4	-	-	-	-	-
32	Teresópolis	05/02/2009	19	-	37,4	0,3	0,3	0,6	11,0	25,8	0,2	0,2	0,4	7,6
33	Garrafão	05/02/2009	-	19:36	0,8	43,0	43,0	43,2	76,6	-	-	-	-	-
34	Garrafão	10/02/2009	-	15:36	41,4	26,8	47,4	47,6	49,2	-	-	-	-	-
35	Garrafão	10/02/2009	-	19:36	0,0	70,0	85,0	91,2	92,8	-	-	-	-	-
36	Garrafão	12/02/2009	-	17:36	23,2	18,4	19,6	89,0	104,8	-	-	-	-	-
37	Garrafão	13/02/2009	-	0:36	0,0	87,2	89,8	160,2	174,4	-	-	-	-	-
38	Garrafão	18/03/2009	-	15:36	33,6	13,6	15,6	19,8	36,4	-	-	-	-	-
39	Garrafão	18/03/2009	-	18:36	0,0	48,4	49,6	50,6	61,0	-	-	-	-	-
40	Teresópolis	24/03/2009	21	-	36,3	67,9	70,5	74,8	75,4	25,0	46,8	48,6	51,6	52,0
41	Teresópolis	25/03/2009	5	-	0,0	129,6	168,5	174,0	174,0	0,0	89,4	116,2	120,0	120,0
42	Garrafão	29/03/2009	-	16:36	36,4	21,6	26,6	29,4	29,4	-	-	-	-	-
43	Garrafão	29/03/2009	-	19:36	0,0	74,0	79,0	82,0	82,0	-	-	-	-	-

Continua na Próxima Página.

	Dados utilizados e normalizados									Dados sem normalização				
	Estação	Data	Hora (UTC)	Hora (Local)	mm/h	mm/24h	mm/48h	mm/72h	mm/96h	mm/h	mm/24h	mm/48h	mm/72h	mm/96h
44	Garrafão	30/03/2009	-	17:36	13,4	35,6	93,4	98,6	101,4	-	-	-	-	-
45	Garrafão	30/03/2009	-	21:36	0,0	35,2	109,0	114,2	116,2	-	-	-	-	-
46	Garrafão	07/04/2009	-	19:36	46,0	28,8	37,6	37,8	42,2	-	-	-	-	-
47	Garrafão	07/04/2009	-	22:36	0,0	79,8	90,0	90,2	93,0	-	-	-	-	-
48	Garrafão	16/04/2009	-	19:36	25,8	20,2	25,4	26,0	26,0	-	-	-	-	-
49	Garrafão	16/04/2009	-	21:36	0,0	47,2	52,4	53,0	53,0	-	-	-	-	-
50	Teresópolis	01/05/2009	23	-	58,0	43,2	46,1	46,1	58,3	40,0	29,8	31,8	31,8	40,2
51	Teresópolis	02/05/2009	5	-	0,0	138,0	140,9	140,9	140,9	0,0	95,2	97,2	97,2	97,2
52	Garrafão	29/05/2009	-	6:36	20,4	54,4	54,6	54,8	55,0	-	-	-	-	-
53	Garrafão	29/05/2009	-	15:36	0,8	122,8	123,0	123,2	123,4	-	-	-	-	-
54	Teresópolis	04/09/2009	20	-	45,0	7,8	7,8	7,8	7,8	31,0	5,4	5,4	5,4	5,4
55	Teresópolis	05/09/2009	0	-	0,3	57,7	57,7	57,7	57,7	0,2	39,8	39,8	39,8	39,8
56	Teresópolis	08/10/2009	17	-	27,0	42,6	42,6	42,6	47,9	18,6	29,4	29,4	29,4	33,0
57	Teresópolis	10/10/2009	8	-	4,1	134,9	320,7	333,5	333,5	2,8	93,0	221,2	230,0	230,0
58	Garrafão	14/10/2009	-	3:36	8,4	75,4	75,4	75,4	75,4	-	-	-	-	-
59	Garrafão	14/10/2009	-	11:36	3,2	125,2	125,2	125,2	125,2	-	-	-	-	-

Continua na Próxima Página.

	Dados utilizados e normalizados									Dados sem normalização				
	Estação	Data	Hora (UTC)	Hora (Local)	mm/h	mm/24h	mm/48h	mm/72h	mm/96h	mm/h	mm/24h	mm/48h	mm/72h	mm/96h
60	Garrafão	18/10/2009	-	1:36	12,0	143,6	303,0	380,2	494,4	-	-	-	-	-
61	Teresópolis	28/10/2009	22	-	37,7	50,2	98,0	99,8	125,9	26,0	34,6	67,6	68,8	86,8
62	Teresópolis	29/10/2009	0	-	0,6	87,0	136,6	136,6	164,4	0,4	60,0	94,2	94,2	113,4
63	Garrafão	09/11/2009	-	23:36	5,6	81,2	166,6	270,8	381,6	-	-	-	-	-
64	Teresópolis	11/11/2009	2	-	29,9	23,5	183,0	185,3	185,3	20,6	16,2	126,2	127,8	127,8
65	Teresópolis	11/11/2009	7	-	0,0	84,1	243,3	244,2	245,9	0,0	58,0	167,8	168,4	169,6
66	Teresópolis	13/11/2009	0	-	27,0	42,6	137,8	142,1	301,9	18,6	29,4	95,0	98,0	208,2
67	Teresópolis	13/11/2009	4	-	2,0	67,3	113,7	183,0	342,5	1,4	46,4	78,4	126,2	236,2
68	Teresópolis	14/11/2009	1	-	0,0	78,0	146,7	241,9	247,1	0,0	53,8	101,2	166,8	170,4
69	Teresópolis	16/11/2009	11	-	0,0	206,8	206,8	268,8	335,0	0,0	142,6	142,6	185,4	231,0
70	Garrafão	18/11/2009	-	9:36	3,2	138,0	307,6	412,2	499,0	-	-	-	-	-
71	Teresópolis	27/11/2009	19	-	59,5	0,0	12,8	18,0	24,7	41,0	0,0	8,8	12,4	17,0
72	Teresópolis	27/11/2009	22	-	0,3	115,1	117,7	133,1	139,8	0,2	79,4	81,2	91,8	96,4
73	Garrafão	27/11/2009	-	15:36	44,6	11,6	18,6	34,8	37,4	-	-	-	-	-
74	Garrafão	27/11/2009	-	19:36	0,0	86,2	88,0	97,2	111,8	-	-	-	-	-
75	Teresópolis	30/11/2009	0	-	46,7	3,2	17,4	132,8	133,1	32,2	2,2	12,0	91,6	91,8

Continua na Próxima Página.

	Dados utilizados e normalizados									Dados sem normalização				
	Estação	Data	Hora (UTC)	Hora (Local)	mm/h	mm/24h	mm/48h	mm/72h	mm/96h	mm/h	mm/24h	mm/48h	mm/72h	mm/96h
76	Teresópolis	30/11/2009	4	-	1,7	68,7	82,9	198,4	198,4	1,2	47,4	57,2	136,8	136,8
77	Garrafão	01/12/2009	-	15:36	21,4	3,4	28,4	34,0	110,4	-	-	-	-	-
78	Garrafão	24/12/2009	-	18:36	53,2	0,4	2,4	3,8	20,0	-	-	-	-	-
79	Garrafão	24/12/2009	-	19:36	13,6	53,4	55,6	57,0	73,0	-	-	-	-	-
80	Teresópolis	25/12/2009	20	-	29,3	24,1	24,9	25,5	44,7	20,2	16,6	17,2	17,6	30,8
81	Garrafão	26/12/2009	-	16:36	45,8	11,8	79,4	79,8	83,0	-	-	-	-	-
82	Garrafão	26/12/2009	-	18:36	0,2	57,2	130,4	130,8	132,8	-	-	-	-	-
83	Garrafão	27/12/2009	-	18:36	37,2	0,4	57,6	130,8	131,2	-	-	-	-	-
84	Garrafão	15/01/2010	-	19:36	47,2	38,6	39,6	39,6	39,6	-	-	-	-	-
85	Teresópolis	21/01/2010	20	-	36,0	0,0	0,0	0,0	0,0	24,8	0,0	0,0	0,0	0,0
86	CRT Km_90	21/01/2010	-	17:00	29,2	1,4	1,6	1,6	1,6	-	-	-	-	-
87	Teresópolis	22/01/2010	4	-	1,2	64,7	64,7	64,7	64,7	0,8	44,6	44,6	44,6	44,6
88	Garrafão	22/01/2010	-	16:36	25,6	26,0	29,0	29,0	29,0	-	-	-	-	-
89	CRT Km_90	22/01/2010	-	16:00	20,6	39,8	40,6	40,8	40,8	-	-	-	-	-
90	Teresópolis	25/01/2010	19	-	33,4	18,0	18,0	44,7	110,5	23,0	12,4	12,4	30,8	76,2
91	Garrafão	25/01/2010	-	15:36	42,8	29,4	29,6	57,8	86,4	-	-	-	-	-

Continua na Próxima Página.

	Dados utilizados e normalizados									Dados sem normalização				
	Estação	Data	Hora (UTC)	Hora (Local)	mm/h	mm/24h	mm/48h	mm/72h	mm/96h	mm/h	mm/24h	mm/48h	mm/72h	mm/96h
92	Garrafão	25/01/2010	-	19:36	2,2	73,2	80,0	80,8	115,2	-	-	-	-	-
93	CRT Km_90	25/01/2010	-	15:00	47,0	2,6	2,6	33,8	73,6	-	-	-	-	-
94	CRT Km_90	25/01/2010	-	21:00	0,2	82,4	83,4	84,2	124,4	-	-	-	-	-
95	CRT Km_90	25/02/2010	-	17:00	49,6	11,6	17,0	17,2	18,2	-	-	-	-	-
96	CRT Km_90	26/02/2010	-	9:00	1,2	285,2	298,2	298,4	299,2	-	-	-	-	-
97	CRT Km_90	04/03/2010	-	17:00	27,8	26,6	73,0	157,2	214,8	-	-	-	-	-
98	CRT Km_90	04/03/2010	-	21:00	0,2	45,0	94,0	165,8	248,8	-	-	-	-	-
99	CRT Km_90	14/03/2010	-	23:00	22,4	16,0	21,2	21,6	21,8	-	-	-	-	-
100	Teresópolis	15/03/2010	2	-	36,5	24,4	24,4	24,4	24,4	25,2	16,8	16,8	16,8	16,8
101	Teresópolis	16/03/2010	22	-	39,7	25,8	72,8	97,2	97,2	27,4	17,8	50,2	67,0	67,0
102	CRT Km_90	16/03/2010	-	18:00	32,0	9,4	43,2	55,8	56,2	-	-	-	-	-
103	CRT Km_90	16/03/2010	-	22:00	0,4	64,4	98,0	110,8	111,0	-	-	-	-	-
104	Teresópolis	17/03/2010	1	-	0,6	73,7	120,6	145,0	145,0	0,4	50,8	83,2	100,0	100,0
105	CRT Km_90	20/03/2010	-	17:00	28,0	5,6	10,6	42,4	115,4	-	-	-	-	-
106	Teresópolis	23/03/2010	17	-	36,8	0,0	7,5	30,5	30,5	25,4	0,0	5,2	21,0	21,0
Continua na Próxima Página.														

	Dados utilizados e normalizados									Dados sem normalização				
	Estação	Data	Hora (UTC)	Hora (Local)	mm/h	mm/24h	mm/48h	mm/72h	mm/96h	mm/h	mm/24h	mm/48h	mm/72h	mm/96h
107	CRT Km_90	30/03/2010	-	0:00	21,6	0,4	1,2	3,4	3,4	-	-	-	-	-
108	CRT Km_90	12/01/2011	-	00:45	23,0	43,6	58,6	58,6	59,6	-	-	-	-	-
109	CRT Km_90	12/01/2011	-	05:45	0	80,4	105,2	105,2	106,2	-	-	-	-	-

Tabela A2.2 – Pluviometria das ocorrências com base em registros pluviométricos horários (mm acumulados na última hora antes da ocorrência) e suas respectivas acumuladas antecedentes.

Eventos													
Obs.: os dados da estação "Teresópolis" foram normalizados com um fator de x1,45.						Dados utilizados e normalizados							
O índice "n" refere-se aos registros de chuvas já normalizados e somente válidos para a estação Teresópolis.													
Chuvas com Eventos	Estação	Data	Hora (UTC)	Hora (Local)	Horário de Verão	mm/h	mm/24h	mm/48h	mm/72h	mm/96h	Eventos	Classificação	Hora (Local) exata do evento
1 n	Teresópolis	30/11/2006	21:00	19:00	Sim	29,3	167,0	212,6	234,6	276,7	Ev21	Muito Importante	18:00
1						20,2	115,2	146,6	161,8	190,8			

Continua na próxima página.

Chuvas com Eventos	Estação	Data	Hora (UTC)	Hora (Local)	Horário de Verão	mm/h	mm/24h	mm/48h	mm/72h	mm/96h	Eventos	Classificação	Hora (Local) exata do evento
2n	Teresópolis	24/03/2008	20:00	17:00	Não	42,3	46,1	57,7	57,7	57,7	Ev22	Importante	18:00
2						29,2	31,8	39,8	39,8	39,8			
3n	Teresópolis	21/01/2009	21:00	19:00	Sim	46,1	134,6	137,5	151,1	159,2	Ev24	Muito Importante	19:30
3						31,8	92,8	94,8	104,2	109,8			
4n	Teresópolis	15/11/2009	00:00	22:00	Sim	102,4	19,4	19,7	124,7	167,3	Ev25	Muito Importante	22:00
4						70,6	13,4	13,6	86,0	115,4			
5	Garrafão	04/12/2009	-	17:36	-	24,2	103,4	105,6	109,0	132,0	Ev26	Importante	19:00
6n	Teresópolis	31/12/2009	20:00	18:00	Sim	0,0	9,9	91,6	136,9	152,8	Ev27	Simples	18:00
6						0,0	6,8	63,2	94,4	105,4			
7	Garrafão	26/01/2010	-	12:00	-	0,0	73,8	82,6	82,6	110,8	Ev29	Simples	11:54
8	CRT_km 90	07/11/2010	-	13:00	-	0,0	31,8	37,0	37,0	40,0	Ev35	Simples	13:30
9	CRT_km 90	10/11/2010	-	23:00	-	5,6	47,0	48,0	50,0	50,0	Ev36	Simples	22:37
10	CRT_km 90	30/11/2010	-	03:00	-	0,0	0,2	0,2	0,8	19,6	Ev37	Simples	2:50
11	CRT_km 90	16/12/2010	-	00:00	-	0,0	30,4	62,4	70,4	70,4	Ev38	Simples	0:02
12	CRT_km 90	01/01/2011	-	23:00	-	0,2	17,4	20,2	33,6	35,4	Ev39	Simples	22:50

Tabela A2.3 – Registros Pluviométricos das ocasiões em que a estrada foi fechada preventivamente pela CRT.

Fechamento Preventivo											
	Estação	Data	Hora (UTC)	Hora (Local)	Horário de Verão	mm/h	mm/24h	mm/48h	mm/72h	mm/96h	Fechamento Preventivo
1	Garrafão	27/11/2009	-	16:36	-	28,8	56,2	62,8	79,4	82,0	FP01
2	CRT km 90	25/02/2010	-	21:00	-	26,8	179,6	187,2	187,4	188,6	FP02
3	CRT km 90	27/12/2010	-	20:00	-	1,0	116,4	145,6	147,6	191,8	FP03

Tabela A2.4 – Pluviometria das Ocorrências Circunstanciais com base em registros pluviométricos horários (mm acumulados na última hora antes da ocorrência).

Ocorrências Circunstanciais (não diretamente associadas a eventos pluviométricos)										
Dados utilizados e normalizados						Obs. Os dados da estação "Teresópolis" foram normalizados com um fator de x1,45.				
Chuvas com Eventos Descartados	Estação	Data	mm/h	mm/24h	mm/48h	mm/72h	mm/96h	Eventos	Classificação	Hora (Local) exata do evento
1	Teresópolis	16/05/2008	0,0	0,0	0,3	4,4	15,1	Ev23	Simple	11:16
2	CRT km 90	17/02/2010	6,0	4,8	5,0	5,4	7,0	Ev30	Simple	17:00
3	Garrafão	08/04/2010	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	Ev31	Simple	00:02
4	Garrafão	05/06/2010	0,0	1,2	1,2	1,4	1,4	Ev32	Simple	09:35
5	CRT_Km 90	22/07/2010	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	Ev33	Importante	05:54
6	CRT_Km 90	03/08/2010	0,0	0,4	0,4	0,4	0,4	Ev34	Simple	09:47
7	CRT_Km 90	05/02/2011	0,0	0,0	0,0	0,0	1,20	Ev40	Simple	02:30

Tabela A2.5 – Registros Pluviométricos diários (mm acumulados em 24h) sem ocorrências.

Chuvvas sem Eventos								
Obs. Os dados de chuva referentes à estação "Teresópolis" foram normalizado com um fator de x1,45.								
Dados utilizados e normalizados							Dados sem normalização	
Obs.: Os registros 1 a 154 referem-se a período anterior a 1980. Para estes dados não foi possível a verificação de ocorrências de movimentos de massa.								
	Estação	Data	Hora (UTC)	Hora (Local)	mm/24h	mm/96h	mm/24h	mm/96h
1	PNT	11/01/1961	-	24:00	132,7	122,8	-	-
2	PNT	09/03/1961	-	24:00	132,1	70,3	-	-
3	PNT	06/06/1961	-	24:00	63,0	0,0	-	-
4	PNT	27/07/1961	-	24:00	69,8	0,2	-	-
5	Teresópolis Centro	20/01/1962	-	24:00	74,7	96,6	51,5	66,6
6	PNT	27/01/1962	-	24:00	106,1	9,8	-	-
7	PNT	10/02/1962	-	24:00	97,6	100,0	-	-
8	PNT	25/02/1962	-	24:00	70,6	30,6	-	-
9	PNT	20/07/1962	-	24:00	76,4	15,0	-	-
10	PNT	22/11/1962	-	24:00	74,7	66,9	-	-
Continua na próxima página								

Dados utilizados e normalizados							Dados sem normalização	
	Estação	Data	Hora (UTC)	Hora (Local)	mm/24h	mm/96h	mm/24h	mm/96h
11	Teresópolis Centro	03/12/1962	-	24:00	100,9	3,3	69,6	2,3
12	PNT	19/01/1963	-	24:00	61,7	70,1	-	-
13	Teresópolis Centro	27/01/1963	-	24:00	102,4	42,6	70,6	29,4
14	Teresópolis Centro	10/02/1963	-	24:00	111,8	154,9	77,1	106,8
15	PNT	12/04/1963	-	24:00	83,4	7,4	-	-
16	PNT	16/05/1963	-	24:00	101,4	0,0	-	-
17	Teresópolis Centro	29/10/1963	-	24:00	96,1	15,1	66,3	10,4
18	Teresópolis Centro	11/11/1963	-	24:00	83,2	133,5	57,4	92,1
19	Teresópolis Centro	19/12/1963	-	24:00	110,5	101,8	76,2	70,2
20	PNT	04/02/1964	-	24:00	113,8	100,7	-	-
21	PNT	30/03/1964	-	24:00	117,6	12,2	-	-
22	PNT	04/12/1964	-	24:00	126,0	67,5	-	-
23	PNT	24/01/1965	-	24:00	78,4	35,9	-	-
24	PNT	16/02/1965	-	24:00	56,7	69,8	-	-
25	PNT	22/04/1965	-	24:00	99,8	42,9	-	-
Continua na próxima página.								

Dados utilizados e normalizados							Dados sem normalização	
	Estação	Data	Hora (UTC)	Hora (Local)	mm/24h	mm/96h	mm/24h	mm/96h
26	Teresópolis Centro	30/04/1965	-	24:00	82,1	29,7	56,6	20,5
27	PNT	11/10/1965	-	24:00	113,4	7,4	-	-
28	PNT	22/12/1965	-	24:00	138,2	0,0	-	-
29	PNT	11/01/1966	-	24:00	119,8	96,1	-	-
30	PNT	27/02/1966	-	24:00	59,8	98,0	-	-
31	PNT	27/03/1966	-	24:00	215,0	23,5	-	-
32	Teresópolis Centro	07/11/1966	-	24:00	89,8	56,8	61,9	39,2
33	PNT	22/11/1966	-	24:00	51,3	70,9	-	-
34	Teresópolis Centro	15/12/1966	-	24:00	89,9	111,1	62,0	76,6
35	PNT	24/12/1966	-	24:00	98,8	124,1	-	-
36	Teresópolis Centro	26/01/1967	-	24:00	224,0	46,1	154,5	31,8
37	Teresópolis Centro	18/02/1967	-	24:00	98,0	0,0	67,6	0,0
38	PNT	28/10/1967	-	24:00	64,4	50,5	-	-
39	PNT	24/12/1967	-	24:00	56,6	150,2	-	-
40	PNT	31/01/1968	-	24:00	97,0	0,0	-	-
41	PNT	26/02/1968	-	24:00	111,0	96,1	-	-

Continua na próxima página.

Dados utilizados e normalizados							Dados sem normalização	
	Estação	Data	Hora (UTC)	Hora (Local)	mm/24h	mm/96h	mm/24h	mm/96h
42	PNT	17/03/1968	-	24:00	102,6	13,2	-	-
43	Teresópolis Centro	29/03/1968	-	24:00	93,8	14,2	64,7	9,8
44	PNT	19/11/1968	-	24:00	95,8	56,8	-	-
45	PNT	09/12/1968	-	24:00	95,5	2,0	-	-
46	PNT	24/01/1969	-	24:00	60,2	97,4	-	-
47	PNT	03/08/1969	-	24:00	69,5	13,4	-	-
48	PNT	11/11/1969	-	24:00	90,7	22,6	-	-
49	PNT	14/12/1969	-	24:00	60,5	27,7	-	-
50	PNT	25/12/1969	-	24:00	68,3	56,2	-	-
51	PNT	10/01/1970	-	24:00	110,6	48,3	-	-
52	PNT	18/01/1970	-	24:00	63,8	7,6	-	-
53	PNT	13/03/1970	-	24:00	62,2	15,1	-	-
54	Teresópolis Centro	30/08/1970	-	24:00	85,8	92,2	59,2	63,6
55	PNT	15/09/1970	-	24:00	60,1	26,8	-	-
56	Teresópolis Centro	22/10/1970	-	24:00	89,0	15,7	61,4	10,8
57	PNT	10/11/1970	-	24:00	63,8	107,1	-	-

Continua na próxima página.

Dados utilizados e normalizados							Dados sem normalização	
	Estação	Data	Hora (UTC)	Hora (Local)	mm/24h	mm/96h	mm/24h	mm/96h
58	PNT	14/12/1970	-	24:00	68,6	48,4	-	-
59	PNT	27/02/1971	-	24:00	172,5	73,9	-	-
60	Teresópolis Centro	27/02/1971	-	24:00	90,5	42,9	62,4	29,6
61	Teresópolis Centro	28/02/1971	-	24:00	78,6	126,2	54,2	87,0
62	PNT	28/05/1971	-	24:00	132,3	3,4	-	-
63	PNT	20/11/1971	-	24:00	127,0	47,2	-	-
64	Teresópolis Centro	20/11/1971	-	24:00	90,0	13,1	62,1	9,0
65	PNT	25/12/1971	-	24:00	90,4	68,8	-	-
66	Teresópolis Centro	25/12/1971	-	24:00	90,8	60,9	62,6	42,0
67	PNT	23/02/1972	-	24:00	125,8	73,2	-	-
68	Teresópolis Centro	23/02/1972	-	24:00	77,1	81,3	53,2	56,1
69	PNT	23/03/1972	-	24:00	81,9	18,1	-	-
70	Teresópolis Centro	24/03/1972	-	24:00	106,4	4,4	73,4	3,0
71	PNT	02/11/1972	-	24:00	93,9	27,8	-	-
72	Teresópolis Centro	03/11/1972	-	24:00	112,2	24,7	77,4	17,0
73	PNT	19/12/1972	-	24:00	105,0	0,2	-	-

Continua na próxima página.

Dados utilizados e normalizados							Dados sem normalização	
	Estação	Data	Hora (UTC)	Hora (Local)	mm/24h	mm/96h	mm/24h	mm/96h
74	Teresópolis Centro	20/12/1972	-	24:00	155,6	0,0	107,3	0,0
75	Teresópolis Centro	31/12/1972	-	24:00	105,3	46,0	72,6	31,7
76	Teresópolis Centro	14/01/1973	-	24:00	74,0	71,1	51,0	49,0
77	PNT	25/01/1973	-	24:00	54,0	7,9	-	-
78	PNT	06/02/1973	-	24:00	101,8	97,1	-	-
79	Teresópolis Centro	07/02/1973	-	24:00	86,4	78,6	59,6	54,2
80	PNT	23/02/1973	-	24:00	70,0	23,2	-	-
81	PNT	22/03/1973	-	24:00	78,0	45,9	-	-
82	PNT	08/04/1973	-	24:00	127,4	0,0	-	-
83	Teresópolis Centro	09/04/1973	-	24:00	98,6	9,3	68,0	6,4
84	Teresópolis Centro	09/10/1973	-	24:00	76,0	0,0	52,4	0,0
85	PNT	13/10/1973	-	24:00	62,0	5,6	-	-
86	PNT	28/10/1973	-	24:00	51,8	52,8	-	-
87	Teresópolis Centro	28/10/1973	-	24:00	74,4	42,1	51,3	29,0
88	PNT	19/11/1973	-	24:00	88,3	41,8	-	-
89	Teresópolis Centro	26/11/1973	-	24:00	72,5	31,6	50,0	21,8
Continua na próxima página.								

Dados utilizados e normalizados							Dados sem normalização	
	Estação	Data	Hora (UTC)	Hora (Local)	mm/24h	mm/96h	mm/24h	mm/96h
90	PNT	21/12/1973	-	24:00	77,9	25,4	-	-
91	Teresópolis Centro	22/12/1973	-	24:00	84,1	75,7	58,0	52,2
92	PNT	02/01/1974	-	24:00	110,0	83,8	-	-
93	Teresópolis Centro	23/03/1974	-	24:00	81,2	54,4	56,0	37,5
94	Teresópolis Centro	25/03/1974	-	24:00	106,9	122,8	73,7	84,7
95	Teresópolis Centro	26/03/1974	-	24:00	82,1	227,7	56,6	157,0
96	PNT	23/11/1974	-	24:00	58,0	71,3	-	-
97	Teresópolis Centro	04/12/1974	-	24:00	96,0	31,6	66,2	21,8
98	PNT	19/12/1974	-	24:00	56,6	57,6	-	-
99	PNT	31/12/1974	-	24:00	95,2	47,8	-	-
100	Teresópolis Centro	15/01/1975	-	24:00	76,3	114,7	52,6	79,1
101	PNT	20/01/1975	-	24:00	55,1	123,2	-	-
102	Teresópolis Centro	11/03/1975	-	24:00	116,6	19,7	80,4	13,6
103	PNT	04/05/1975	-	24:00	69,4	4,1	-	-
104	PNT	15/06/1975	-	24:00	75,8	0,8	-	-
105	PNT	26/09/1975	-	24:00	78,0	17,3	-	-

Continua na próxima página.

Dados utilizados e normalizados							Dados sem normalização	
	Estação	Data	Hora (UTC)	Hora (Local)	mm/24h	mm/96h	mm/24h	mm/96h
106	PNT	12/10/1975	-	24:00	77,3	53,9	-	-
107	Teresópolis Centro	26/11/1975	-	24:00	194,3	36,4	134,0	25,1
108	PNT	14/12/1975	-	24:00	96,7	17,5	-	-
109	Teresópolis Centro	15/12/1975	-	24:00	105,0	31,9	72,4	22,0
110	Teresópolis Centro	14/01/1976	-	24:00	84,8	10,0	58,5	6,9
111	PNT	08/02/1976	-	24:00	108,2	14,7	-	-
112	Teresópolis Centro	09/02/1976	-	24:00	85,0	2,3	58,6	1,6
113	PNT	22/03/1976	-	24:00	75,5	107,3	-	-
114	PNT	28/09/1976	-	24:00	64,8	31,4	-	-
115	PNT	20/10/1976	-	24:00	124,6	26,8	-	-
116	PNT	09/12/1976	-	24:00	123,8	73,3	-	-
117	PNT	28/12/1976	-	24:00	60,1	105,6	-	-
118	PNT	20/01/1977	-	24:00	57,2	104,3	-	-
119	PNT	28/01/1977	-	24:00	113,0	56,0	-	-
120	Teresópolis Centro	28/01/1977	-	24:00	204,2	54,8	140,8	37,8
121	Teresópolis Centro	30/01/1977	-	24:00	102,7	310,7	70,8	214,3
Continua na próxima página.								

Dados utilizados e normalizados							Dados sem normalização	
	Estação	Data	Hora (UTC)	Hora (Local)	mm/24h	mm/96h	mm/24h	mm/96h
122	PNT	02/04/1977	-	24:00	145,0	55,6	-	-
123	Teresópolis Centro	03/04/1977	-	24:00	92,8	60,3	64,0	41,6
124	Teresópolis Centro	16/11/1977	-	24:00	99,8	87,1	68,8	60,1
125	PNT	24/11/1977	-	24:00	94,2	14,0	-	-
126	PNT	26/11/1977	-	24:00	58,0	112,0	-	-
127	Teresópolis Centro	08/12/1977	-	24:00	76,9	14,2	53,0	9,8
128	PNT	10/12/1977	-	24:00	54,9	94,3	-	-
129	Teresópolis Centro	11/12/1977	-	24:00	91,5	91,9	63,1	63,4
130	PNT	23/12/1977	-	24:00	61,4	127,2	-	-
131	PNT	11/01/1978	-	24:00	93,8	47,9	-	-
132	Teresópolis Centro	13/01/1978	-	24:00	142,5	83,1	98,3	57,3
133	PNT	04/02/1978	-	24:00	74,0	0,0	-	-
134	PNT	08/02/1978	-	24:00	50,4	166,8	-	-
135	Teresópolis Centro	06/03/1978	-	24:00	103,2	27,0	71,2	18,6
136	PNT	01/04/1978	-	24:00	168,0	4,8	-	-
137	Teresópolis Centro	02/04/1978	-	24:00	319,0	19,4	220,0	13,4
Continua na próxima página.								

Dados utilizados e normalizados							Dados sem normalização	
	Estação	Data	Hora (UTC)	Hora (Local)	mm/24h	mm/96h	mm/24h	mm/96h
138	PNT	30/09/1978	-	24:00	50,0	0,0	-	-
139	Teresópolis Centro	12/11/1978	-	24:00	114,6	1,0	79,0	0,7
140	Teresópolis Centro	22/11/1978	-	24:00	74,0	8,0	51,0	5,5
141	Teresópolis Centro	24/11/1978	-	24:00	166,8	83,1	115,0	57,3
142	Teresópolis Centro	03/01/1979	-	24:00	82,1	46,1	56,6	31,8
143	PNT	22/01/1979	-	24:00	127,9	104,6	-	-
144	PNT	05/02/1979	-	24:00	74,8	101,7	-	-
145	Teresópolis Centro	05/02/1979	-	24:00	86,7	37,0	59,8	25,5
146	PNT	14/02/1979	-	24:00	239,0	33,4	-	-
147	Teresópolis Centro	15/02/1979	-	24:00	203,0	28,4	140,0	19,6
148	Teresópolis Centro	22/02/1979	-	24:00	78,7	90,2	54,3	62,2
149	PNT	11/03/1979	-	24:00	55,0	23,8	-	-
150	PNT	02/11/1979	-	24:00	57,6	39,5	-	-
151	PNT	26/11/1979	-	24:00	79,0	84,3	-	-
152	PNT	23/12/1979	-	24:00	103,0	114,0	-	-
153	Teresópolis Centro	23/12/1979	-	24:00	116,0	56,8	80,0	39,2
Continua na próxima página.								

Dados utilizados e normalizados							Dados sem normalização	
	Estação	Data	Hora (UTC)	Hora (Local)	mm/24h	mm/96h	mm/24h	mm/96h
154	PNT	26/12/1979	-	24:00	67,2	187,9	-	-
155	Teresópolis Centro	12/01/1980	-	24:00	75,7	3,3	52,2	2,3
156	Teresópolis Centro	18/01/1980	-	24:00	76,9	120,5	53,0	83,1
157	Teresópolis Centro	01/04/1980	-	24:00	87,0	21,8	60,0	15,0
158	Teresópolis Centro	01/12/1980	-	24:00	103,7	0,0	71,5	0,0
159	Teresópolis Centro	04/12/1980	-	24:00	74,0	222,9	51,0	153,7
160	Teresópolis Centro	19/03/1981	-	24:00	81,2	3,6	56,0	2,5
161	Teresópolis Centro	18/04/1981	-	24:00	125,0	13,1	86,2	9,0
162	Teresópolis Centro	20/10/1981	-	24:00	77,4	52,8	53,4	36,4
163	Teresópolis Centro	03/01/1982	-	24:00	128,8	37,7	88,8	26,0
164	Teresópolis Centro	24/01/1982	-	24:00	102,7	46,1	70,8	31,8
165	Teresópolis Centro	07/09/1982	-	24:00	87,7	0,0	60,5	0,0
166	Teresópolis Centro	28/10/1982	-	24:00	76,3	5,5	52,6	3,8
167	Teresópolis Centro	30/10/1982	-	24:00	73,7	82,4	50,8	56,8
168	Teresópolis Centro	27/12/1982	-	24:00	76,4	67,9	52,7	46,8
169	Teresópolis Centro	05/06/1983	-	24:00	78,0	123,0	53,8	84,8
Continua na próxima página.								

Dados utilizados e normalizados							Dados sem normalização	
	Estação	Data	Hora (UTC)	Hora (Local)	mm/24h	mm/96h	mm/24h	mm/96h
170	Teresópolis Centro	16/09/1983	-	24:00	80,2	51,8	55,3	35,7
171	Teresópolis Centro	31/03/1984	-	24:00	109,2	9,4	75,3	6,5
172	Teresópolis Centro	24/01/1985	-	24:00	72,8	40,0	50,2	27,6
173	Teresópolis Centro	25/01/1985	-	24:00	98,3	114,7	67,8	79,1
174	Teresópolis Centro	30/01/1985	-	24:00	79,3	104,8	54,7	72,3
175	Teresópolis Centro	18/03/1985	-	24:00	83,5	34,8	57,6	24,0
176	Teresópolis Centro	04/11/1985	-	24:00	98,5	24,5	67,9	16,9
177	Teresópolis Centro	14/01/1986	-	24:00	75,7	59,3	52,2	40,9
178	Teresópolis Centro	08/03/1986	-	24:00	85,3	33,8	58,8	23,3
179	Teresópolis Centro	08/03/1986	-	24:00	74,8	44,4	51,6	30,6
180	Teresópolis Centro	22/07/1986	-	24:00	89,8	0,0	61,9	0,0
181	Teresópolis Centro	26/12/1986	-	24:00	77,9	71,9	53,7	49,6
182	Teresópolis Centro	22/01/1987	-	24:00	81,9	49,7	56,5	34,3
183	Teresópolis Centro	22/01/1987	-	24:00	100,8	39,7	69,5	27,4
184	Teresópolis Centro	07/09/1992	-	24:00	83,5	32,2	57,6	22,2
185	Teresópolis Centro	09/10/1992	-	24:00	103,2	5,2	71,2	3,6
Continua na próxima página.								

Dados utilizados e normalizados							Dados sem normalização	
	Estação	Data	Hora (UTC)	Hora (Local)	mm/24h	mm/96h	mm/24h	mm/96h
186	Teresópolis Centro	05/11/1992	-	24:00	152,3	13,1	105,0	9,0
187	Teresópolis Centro	12/12/1992	-	24:00	82,7	42,1	57,0	29,0
188	Teresópolis Centro	06/01/1993	-	24:00	161,2	66,6	111,2	45,9
189	Teresópolis Centro	07/01/1993	-	24:00	78,3	227,8	54,0	157,1
190	Teresópolis Centro	21/03/1993	-	24:00	194,3	21,2	134,0	14,6
191	Teresópolis Centro	28/03/1993	-	24:00	97,4	9,3	67,2	6,4
192	Teresópolis Centro	18/11/1993	-	24:00	85,6	0,0	59,0	0,0
193	Teresópolis Centro	22/01/1994	-	24:00	130,2	58,6	89,8	40,4
194	Teresópolis Centro	03/03/1994	-	24:00	143,6	70,8	99,0	48,8
195	Teresópolis Centro	02/04/1994	-	24:00	111,7	47,9	77,0	33,0
196	Teresópolis Centro	16/05/1994	-	24:00	85,0	41,6	58,6	28,7
197	Teresópolis Centro	17/05/1994	-	24:00	184,7	126,6	127,4	87,3
198	Teresópolis Centro	20/11/1994	-	24:00	127,9	26,4	88,2	18,2
199	Teresópolis Centro	23/01/1995	-	24:00	151,1	118,5	104,2	81,7
200	Teresópolis Centro	31/01/1995	-	24:00	80,2	62,1	55,3	42,8
201	Teresópolis Centro	21/01/1996	-	24:00	81,2	12,2	56,0	8,4
Continua na próxima página.								

Dados utilizados e normalizados							Dados sem normalização	
	Estação	Data	Hora (UTC)	Hora (Local)	mm/24h	mm/96h	mm/24h	mm/96h
202	Teresópolis Centro	16/11/1997		24:00	87	7,25	60	5
203	Teresópolis Centro	09/01/1998		24:00	95,99	94,25	66,2	65
204	Teresópolis Centro	12/02/1998		24:00	152,685	2,175	105,3	1,5
205	Teresópolis Centro	30/05/1998		24:00	74,82	2,755	51,6	1,9
206	Teresópolis Centro	22/11/1998		24:00	76,85	60,175	53	41,5
207	Teresópolis Centro	07/12/1998		24:00	84,97	12,18	58,6	8,4
208	Teresópolis Centro	26/12/1998		24:00	91,93	51,475	63,4	35,5
209	Teresópolis	15/11/2006	0		78,01	103,24	53,8	71,2
210	Teresópolis	04/01/2007	18		122,96	152,25	84,8	105
211	Teresópolis	16/01/2007	23		129,34	85,26	89,2	58,8
212	Teresópolis	27/01/2007	23		87	19,14	60	13,2
213	Teresópolis	03/02/2007	12		85,84	73,95	59,2	51
214	Teresópolis	12/02/2007	17		74,24	0	51,2	0
215	Teresópolis	06/04/2007	16		102,95	7,25	71	5
216	Teresópolis	28/04/2007	17		212,86	0	146,8	0
217	Teresópolis	30/07/2007	2		72,79	34,8	50,2	24

Continua na próxima página.

Dados utilizados e normalizados							Dados sem normalização	
	Estação	Data	Hora (UTC)	Hora (Local)	mm/24h	mm/96h	mm/24h	mm/96h
218	Teresópolis	04/11/2007	11		114,84	1,45	79,2	1
219	Teresópolis	13/11/2007	12		152,54	13,92	105,2	9,6
220	Teresópolis	28/11/2007	12		103,24	66,99	71,2	46,2
221	Teresópolis	09/12/2007	12		75,4	32,48	52	22,4
222	Teresópolis	14/12/2007	17		167,04	83,81	115,2	57,8
223	Teresópolis	20/12/2007	23		90,77	4,06	62,6	2,8
224	Teresópolis	07/01/2008	1		84,1	4,35	58	3
225	Teresópolis	22/01/2008	2		116,29	62,93	80,2	43,4
226	Teresópolis	04/02/2008	0		158,92	76,27	109,6	52,6
227	Teresópolis	26/02/2008	19		81,49	115,71	56,2	79,8
228	Teresópolis	07/03/2008	21		85,26	6,67	58,8	4,6
229	Teresópolis	14/03/2008	23		124,99	49,59	86,2	34,2
230	Teresópolis	27/03/2008	17		100,05	154,28	69	106,4
231	Teresópolis	31/03/2008	3		75,11	151,96	51,8	104,8
232	Teresópolis	16/04/2008	14		92,22	8,99	63,6	6,2
233	Teresópolis	01/05/2008	20		78,59	46,4	54,2	32
Continua na próxima página.								

Dados utilizados e normalizados							Dados sem normalização	
	Estação	Data	Hora (UTC)	Hora (Local)	mm/24h	mm/96h	mm/24h	mm/96h
234	Teresópolis	09/10/2008	8		117,45	42,63	81	29,4
235	Teresópolis	03/12/2008	14		109,04	48,14	75,2	33,2
236	Teresópolis	15/12/2008	21		111,65	41,76	77	28,8
237	Teresópolis	25/12/2008	20		81,78	6,38	56,4	4,4
238	Garrafão	10/02/2009		23:36	70,4	22,8	-	-
239	Garrafão	13/02/2009		13:36	98,2	94,4	-	-
240	Garrafão	24/03/2009		22:36	93,2	47,2	-	-
241	Garrafão	30/03/2009		8:36	71	11,2	-	-
242	Garrafão	08/04/2009		15:36	92	35,8	-	-
243	Garrafão	21/04/2009		23:36	63,6	0	-	-
244	Teresópolis	02/05/2009	6		138,33	25,23	95,4	17,4
245	Garrafão	29/05/2009		17:36	123,8	1,4	-	-
246	Teresópolis	25/07/2009	22		72,5	11,6	50	8
247	Teresópolis	22/09/2009	8		74,53	14,79	51,4	10,2
248	Teresópolis	01/10/2009	2		88,45	38,28	61	26,4
249	Teresópolis	09/10/2009	14		232,58	25,23	160,4	17,4

Continua na próxima página.

Dados utilizados e normalizados							Dados sem normalização	
	Estação	Data	Hora (UTC)	Hora (Local)	mm/24h	mm/96h	mm/24h	mm/96h
250	Garrafão	14/10/2009		17:36	130	17,2	-	-
251	Garrafão	18/10/2009		17:36	105,2	242,6	-	-
252	Garrafão	26/10/2009		6:36	59,2	85	-	-
253	Garrafão	31/10/2009		9:36	105,2	144,6	-	-
254	Garrafão	06/11/2009		14:36	114,4	172,4	-	-
255	Teresópolis	09/11/2009	22		158,34	2,03	109,2	1,4
256	Garrafão	10/11/2009		14:36	98,2	391,8	-	-
257	Teresópolis	12/11/2009	1		83,81	185,31	57,8	127,8
258	Garrafão	27/11/2009		18:36	86,2	28	-	-
259	Teresópolis	28/11/2009	12		116	24,65	80	17
260	Garrafão	09/12/2009		20:36	70,8	52	-	-
261	Garrafão	24/12/2009		19:36	67	20,4	-	-
262	Teresópolis	29/12/2009	3		100,63	116,87	69,4	80,6
263	Garrafão	15/01/2010		20:36	93,4	1,4	-	-
264	CRT km 90	26/02/2010		12:00	289,8	15,6	-	-
265	CRT km 90	02/03/2010		9:00	110	320	-	-
Continua na próxima página.								

Dados utilizados e normalizados							Dados sem normalização	
	Estação	Data	Hora (UTC)	Hora (Local)	mm/24h	mm/96h	mm/24h	mm/96h
266	CRT km 90	17/03/2010	-	17:00	74,8	56,2	-	-
267	CRT km 90	12/01/2011	-	05:00	80,2	26,4	-	-

Tabela A2.6 – Pluviometria das ocorrências com base em registros Pluviométricos diários (mm acumulados em 24 horas).

Eventos												
Obs. : Os dados da estação "Teresópolis" foram normalizados com um fator de x1,45.					Dados utilizados e normalizados						Dados sem normalização	
Chuvas com Eventos	Estação	Data	Hora (UTC)	Hora (Local)	Horário de Verão	mm/24h	mm/96h	Eventos	Classificação	Hora (Local) exata do evento	mm/24h	mm/96h
1	PNT	05/03/1981	-	00:00	-	130,5	ND	Ev2	Importante	17:30 as 18:00	-	-
2	PNT	26/11/1981	-	00:00	-	46,7	0	Ev3	Simples	ND	-	-
3	PNT	02/12/1981	-	00:00	-	232,3	27,5	Ev4	Muito Importante	Após 16:30	-	-
4	PNT	17/01/1991	-	00:00	-	132,4	348	Ev7	Muito Importante	Final do dia 17	-	-
5	Teresópolis Centro	28/12/1997	-	00:00	-	0,0	60,0	Ev8	Simples	14:50	0	41,4
6	PNT	09/01/2001	-	15:00	-	34,5	0	Ev10	Importante	15:10	-	-
7	PNT	25/01/2002	-	00:00	-	104,4	28,4	Ev11	Simples	ND	-	-

Continua na próxima página.

Dados utilizados e normalizados											Dados sem normalização	
Chuvas com Eventos	Estação*	Data	Hora (UTC)	Hora (Local)	Horário de Verão	mm/24h	mm/96h	Eventos	Classificação	Hora (Local) exata do evento	mm/24h	mm/96h
8	PNT	18/12/2002	-	00:00	-	52,5	56,4	Ev13	Muito Importante	ND	-	-
9	PNT	21/01/2003	-	00:00	-	5,5	45,4	Ev14	Simples	ND	-	-
10	PNT	29/01/2003	-	00:00	-	81,5	43,1	Ev15	Importante	ND	-	-
11	Teresópolis	10/01/2004	-	00:00	-	68,2	34,8	Ev16	Importante	16:45	47	24
12	Teresópolis	08/02/2005	-	00:00	-	46,4	ND	Ev17	Importante	ND	-	-
13	PNT	10/11/2006	-	00:00	-	31,2	48,2	Ev20	Simples	ND	-	-
14	Teresópolis	01/12/2006	5	03:00	Sim	306,0	144,7	Ev21	Muito Importante	18:00	211	99,8
15	Teresópolis	24/03/2008	21	18:00	Não	84,7	15,4	Ev22	Importante	17:55	58,4	10,6
16	Teresópolis	20/01/2009	21/1/2009 – 2:00	23:00	Não	183,9	46,7	Ev24	M. Importante	21/1/2009 - 19:26	126,8	32,2

Continua na próxima página.

Dados utilizados e normalizados											Dados sem normalização	
Chuvas com Eventos	Estação*	Data	Hora (UTC)	Hora (Local)	Horário de Verão	mm/24h	mm/96h	Eventos	Classificação	Hora (Local) exata do evento	mm/24h	mm/96h
17	Garrafão	15/11/2009	-	22:36	-	93,4	358,6	Ev25	Muito Importante	22:00	-	-
18	Garrafão	04/12/2009	-	19:36	-	139	54	Ev26	Importante	19:00	-	-
19	Teresópolis	31/12/2009	20	18:00	Sim	60,6	150,8	Ev27	Simples	18:00	41,8	104,0
20	Garrafão	26/01/2010	-	12:00	-	73,8	65,6	Ev29	Simples	11:54	-	-
21	CRT_km 90	07/11/2010	-	13:00	-	21,2	20,4	Ev35	Simples	13:30	-	-
22	CRT_km 90	10/11/2010	-	23:00	-	52,6	37,8	Ev36	Simples	22:37	-	-
23	CRT_km 90	30/11/2010	-	03:00	-	0,2	30,4	Ev37	Simples	2:50	-	-
24	CRT_km 90	16/12/2010	-	00:00	-	27,8	45,4	Ev38	Simples	0:02	-	-
25	CRT_km 90	01/01/2011	-	23:00	-	17,2	28,8	Ev39	Simples	22:50	-	-

Tabela A2.7 – Registros Pluviométricos das ocasiões em que a estrada foi fechada preventivamente.

Fechamento Preventivo									
	Estação	Data	Hora (UTC)	Hora (Local)	Horário de Verão	mm/24h	mm/96h	Fechamento Preventivo	Dia/Hora(Local)
1	Garrafão	27/11/2009	-	18:36	-	86,2	28,0	FP01	27/11/2009
2	CRT KM 90	25/02/2010	-	23:00	-	237,8	9,4	FP02	25/02/2009
3	Teresópolis	27/12/2010	22:00	20:00	Sim	115,8	86,4	FP03	27/12/2010

Tabela A2.8 – Pluviometria das ocorrências circunstanciais com base em registros Pluviométricos diários.

Eventos Descartados												
Dados utilizados e normalizados						A estação "Teresópolis" será normalizada com um fator de x1,45.					Dados s/ normalização	
	Estação*	Data	Hora (UTC)	Hora (Local)	Horário de Verão	mm/24h	mm/96h	Eventos	Classificação	Hora (Local) exata do evento	mm/24h	mm/96h
1	Teresópolis Centro	29/08/2002	-	21:00	Não	0,0	2,0	Ev12	Simple	18:25	-	1,4
2	PNT	28/02/2006	-	20:00	-	13,9	6,3	Ev18	Simple	20:30	-	-
3	Teresópolis	16/05/2008	-	11:00	Não	0,9	2,0	Ev23	Simple	11:16	0,6	1,4
4	CRT KM 90	17/02/2010	-	17:00	-	10,8	2,2	Ev30	Simple	ND	-	-
5	Garrafão	08/04/2010	-	00:00	-	0	0	Ev31	Simple	00:02	-	-
6	Garrafão	05/06/2010	-	10:00	-	1,2	0,2	Ev32	Simple	09:35	-	-
7	CRT_Km 90	22/07/2010	-	06:00	-	0	23,6	Ev33	Importante	05:54	-	-

Continua na próxima página.

Dados utilizados e normalizados											Dados s/ normalização	
	Estação*	Data	Hora (UTC)	Hora (Local)	Horário de Verão	mm/24h	mm/96h	Eventos	Classificação	Hora (Local) exata do evento	mm/24h	mm/96h
8	CRT_Km 90	03/08/2010	-	10:00	-	2,2	0	Ev34	Simples	09:47	-	-
9	CRT Km 90	05/02/2011	-	2:00	-	0	1,20	Ev40	Simples	2:30	-	-

**Anexo 3 – REGISTROS SOBRE
MOVIMENTOS DE MASSA NA
ÁREA DE ESTUDO**

Evento: **Ev1**

- Data: 01/07/1980 (estimada);
- Categoria: Importante;
- Ocorrência Oc1: Km 92,300 – talude a montante da pista;
 - Descrição da Ocorrência: escorregamento iniciado no trecho de encosta a montante da pista de rolamento, mobilizando aproximadamente 2000m³ de material constituído de solo residual e de fragmentos de lascas rochosas, que atingiram integralmente as pistas de rolamento;
 - Conseqüências: interrupção do tráfego por 2 dias;
 - Referências: Relatório Tecnosolo RE 2069/81 (20.14) de 27/03/1981.

Evento: **Ev2**

- Data: 05/03/1981;
- Categoria: Importante;
- Ocorrência Oc2: Km 91,500 – talude a montante da pista;
 - Horário: entre 17h30min e 18h00min;
 - Descrição: escorregamento iniciado no trecho de encosta em ponto situada a cerca de 80m a montante da pista de rolamento, mobilizando aproximadamente 2000m³ de material constituído de solo residual e de fragmentos de blocos e de lascas rochosas que atingiram integralmente as pistas de rolamento;
 - Conseqüências: interrupção do tráfego por 5 horas;
 - Referências: Relatório Tecnosolo RE 2069/81 (20.14) de 27/03/1981 e Planilha CRT.

Evento: **Ev3**

- Data: 26/11/1981
- Categoria: Simples;
- Ocorrência Oc3: Km 93,080 – talude a montante da pista
 - Descrição: escorregamento translacional da capa superficial de solo (residual) que estava diretamente assente em maciço rochoso fraturado e alterado;

- Conseqüências: parte do material mobilizado atingiu o acostamento no pé do talude e parte da pista.
- Referências: Relatório Tecnosolo de novembro de 1981, referente ao acidente do Km 93,080.

Evento: **Ev4** (Figuras A3.1 e A3.2)

- Data: 02/12/1981
- Categoria: Muito Importante. O Relatório Preliminar do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), assinado em 05 de dezembro de 1981 pelo Engenheiro Chefe da região (Renato Sampaio Tavares) assim descreveu o Evento:

“No dia 01/12 próximo passado, durante todo o dia, a região da Serra dos Órgãos foi assolada por chuvas constantes, sendo que na área da rodovia, os maciços do Escorrido, a montante dos Km89,5 a 91, do Escalavrado, a montante dos Km 91,5 a 93 e da Reversão, Km 93 a 95, foram os mais atingidos.

A partir das 16:30horas, a precipitação excepcional apresentou características de tromba d'água, provocando queda de barreiras em cortes e deslizamentos de aterros em diversos pontos da rodovia, simultaneamente.

A situação crítica prolongou-se por toda a noite, com chuvas ininterruptas, com barreiras atingindo veículos, muitos deles soterrados, com vítimas fatais.”

Ainda neste Relatório Preliminar são relacionados 21 pontos referentes a danos na pista de rolamento, divididos em “Barreiras” (interpretadas na presente Tese, por falta de maiores informações, simplesmente como *escorregamentos em taludes a montante da pista*) e em “Aterros” (interpretadas *como deslizamentos parcial ou integral da camada de aterro sob a pista*). Dentre as diversas ocorrências citadas destacou-se aquela referente ao Km 91, que mobilizou cerca 20.000 m³ de solo e rocha e mais 70.000m³ de aterro, impedindo o tráfego por vários dias dificultando sobremaneira o acesso de veículos emergenciais e de apoio para execução de vistorias, remoção de material e veículos soterrados.

A pesquisa bibliográfica revelou, ainda, a existência de outros locais com acidentes geológico-geotécnicos não listados na relação apresentada naquele Relatório Preliminar. Todos os locais identificados na pesquisa com localizações diferentes

(mesmo que alguns com poucas dezenas de afastamento entre si) foram considerados como ocorrências individuais do Evento Ev4 (Oc 04 a Oc31). Na opinião do já citado Engenheiro Eduardo Auá da ANTT, neste Evento o trecho de Serra sofreu danos maiores do que no evento de 17 e 18/01/1991, tratando-se portanto, do maior evento (em termos de danos) ao trecho da Rodovia objeto do presente estudo.

Ainda em relação às nefastas conseqüências deste Evento, cabe citar algumas das informações apresentadas pelo do jornal O Globo nos dias imediatamente após o término do Evento. Em 03/12/1981 aquele Jornal relata que uma barreira havia soterrado diversos automóveis nas imediações do KM 92 e um desabamento havia jogado um caminhão contra uma bomba de gasolina do Posto Garrafão, que explodiu causando muitas mortes. Ainda naquela edição foi mencionado que, próximo ao Km 94 uma pedra havia soterrado 3 carros causando 5 mortes. De acordo com aquele jornal, às chuvas se iniciaram no início da tarde do dia 02/12/1981 e se prolongaram por toda a noite, sendo que a Rodovia ficou interditada a partir das 18horas e 15 minutos. No dia 04/12/1981 o jornal O Globo trouxe mais detalhes sobre as ocorrências, com especial foco sobre o grande acidente do Posto Garrafão, que “teria ocorrido em torno das 17horas do dia 02/12/1981, destruído 34 veículos, ferido cerca de 50 pessoas e causado 12 vítimas fatais”.

A dimensão do Evento pode também ser estimada através do Relatório Parcial No. 2 do 7º DRF do DNER, elaborado no final do mês de outubro de 1982, ou seja, pouco menos que onze meses após o Evento, que informa sobre “o andamento dos serviços de emergência, com obras de terraplenagem, pavimentação e serviços especiais, na Rodovia BR 116/RJ – Trecho Parada Modelo – Teresópolis, no período compreendido entre 02 de dezembro de 1981 e 30 de outubro de 1982.” Naquele Relatório além de informações sobre os custos das obras contratadas também foi apresentado um desenho esquemático (Figura A3.1) indicando a localização das obras, sua situação (concluída, em execução ou projetada) naquele momento e um quadro com 22 locais de acidentes com conseqüente necessidade de execução de obras.

Cabe acrescentar que o evento pluviométrico em questão abrangeu uma grande área do Estado do Rio de Janeiro, a tal ponto que na Cidade do Rio de Janeiro (Estação Meteorológica do INMET no Aterro do Flamengo), no dia 03/12, foi registrado 80mm/24horas, tido como o dia mais chuvoso daquele ano na Cidade.

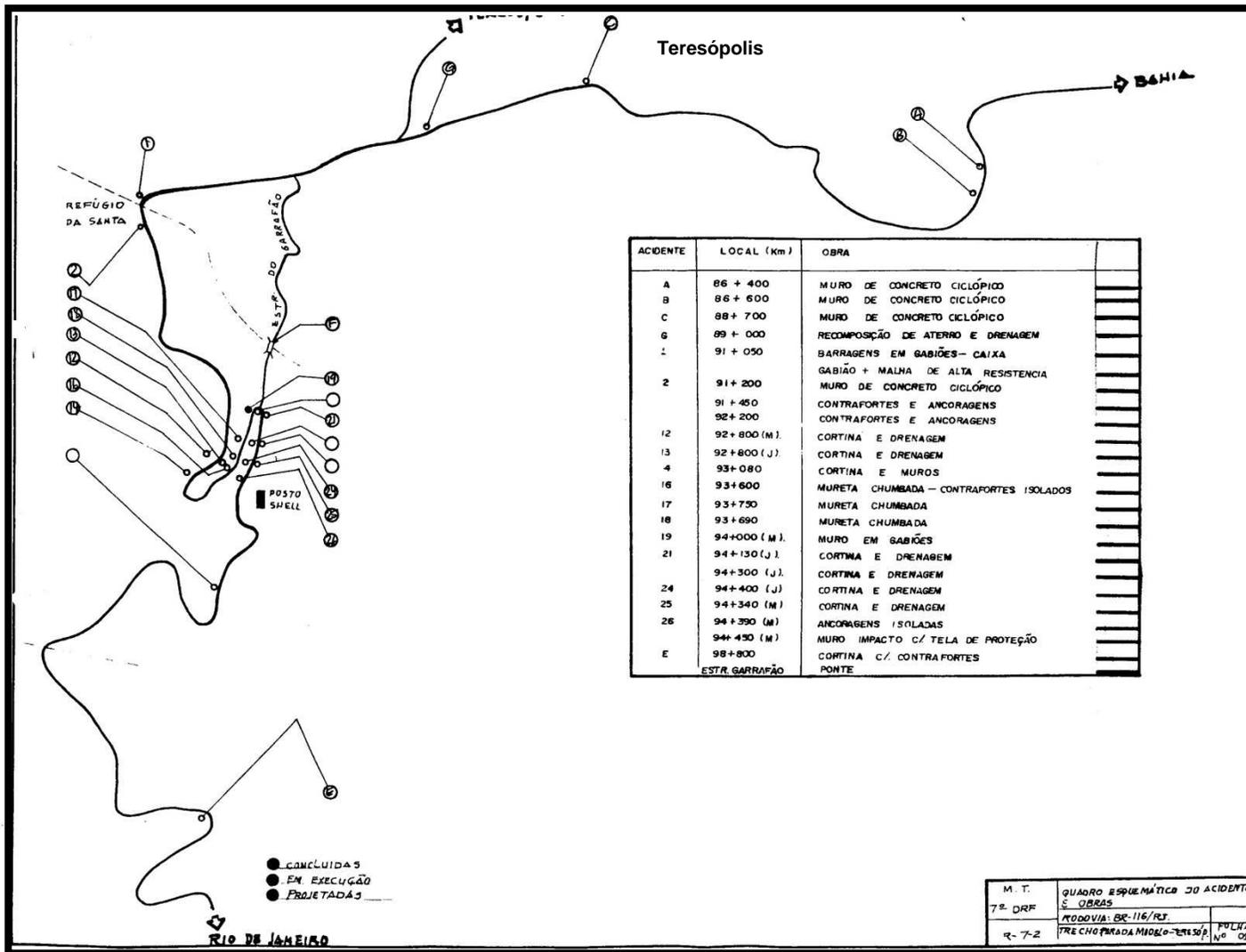


Figura A3.1 – Localização e situação de obras em outubro/1982, executadas na BR116/RJ diretamente associadas às conseqüências do Evento Pluviométrico do dia 02 de dezembro de 1981. A Figura integra o Relatório Parcial No. 2 do 7º Distrito Rodoviário Federal (DRF) do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), do Ministério dos Transportes, elaborado no final do mês de outubro de 1982.

Ocorrências Individuais do Evento Ev4

- Ocorrência Oc4: Km 86,500 - talude a jusante da pista.
 - Horário: movimento iniciado após as 16h30min;
 - Descrição: deslizamento da camada de aterro sob o acostamento, mobilizando 3000m³ de solo.
 - Conseqüências: Danos a pista e criação de situação potencial de risco.
 - Referências: Relatório Preliminar do DNER de 05/12/1981.

- Ocorrência Oc5: Km 88,000 - talude a jusante da pista.
 - Horário: movimento iniciado após as 16h30min;
 - Descrição: deslizamento da camada de aterro sob o acostamento, mobilizando 3000m³ de solo.
 - Conseqüências: Danos a pista e criação de situação potencial de risco.
 - Referências: Relatório Preliminar do DNER de 05/12/1981.

- Ocorrência Oc6: Km 88,500 - talude a montante da pista.
 - Horário: movimento iniciado após as 16h30min;
 - Descrição: escorregamento no talude a montante da pista, mobilizando 2000m³ de solo e rocha.
 - Conseqüências: Obstrução da pista e criação de situação potencial de risco.
 - Referências: Relatório Preliminar do DNER de 05/12/1981.

- Ocorrência Oc7: Km 88,800 - talude a jusante da pista.
 - Horário: movimento iniciado após as 16h30min;
 - Descrição: deslizamento da camada de aterro sob o acostamento, mobilizando 3000m³ de solo.
 - Conseqüências: Danos a pista e criação de situação potencial de risco.
 - Referências: Relatório Preliminar do DNER de 05/12/1981.

- Ocorrência Oc8: Km 89,500 a 91,000- talude a montante da pista.
 - Horário: movimento iniciado após as 16h30min;

- Descrição: diversos pontos de escorregamentos no talude a montante da pista, mobilizando 10000m³ de solo e rocha.
 - Conseqüências: Obstrução da pista e criação de situações potenciais de risco.
 - Referências: Relatório Preliminar do DNER de 05/12/1981.
- Ocorrência Oc9: Km 91,000 - talude a montante e a jusante da pista.
 - Horário: movimento iniciado após as 16h30min;
 - Descrição: escorregamento no talude a montante da pista, mobilizando 20.000m³ de solo e rocha e deslizamento a camada de aterro sob toda a pista, mobilizando 70.000m³ de solo.
 - Conseqüências: Graves danos a pista e interrupção total do tráfego e criação de situação potencial de risco.
 - Referências: Relatório Preliminar do DNER de 05/12/1981.
- Ocorrência Oc10: Km 91,000 a 92,500 - talude a montante da pista.
 - Horário: movimento iniciado após as 16h30min;
 - Descrição: diversos pontos de escorregamentos no talude a montante da pista, mobilizando 5.000m³ de solo e rocha.
 - Conseqüências: Obstrução da pista e criação de situações potenciais de risco.
 - Referências: Relatório Preliminar do DNER de 05/12/1981.
- Ocorrência Oc11: Km 91,300 - talude a jusante da pista.
 - Horário: movimento iniciado após as 16h30min;
 - Descrição: deslizamento da camada de aterro sob meia-pista e acostamento, numa extensão de 42m, mobilizando 20.000m³ de solo.
 - Conseqüências: Danos a pista e criação de situação potencial de risco.
 - Referências: Relatório Preliminar do DNER de 05/12/1981.
- Ocorrência Oc12: Km 92,500 - talude a montante da pista.
 - Horário: movimento iniciado após as 16h30min;
 - Descrição: escorregamento no talude a montante da pista, mobilizando 5000m³ de solo e rocha.

- Conseqüências: Obstrução da pista e criação de situação potencial de risco.
 - Referências: Relatório Preliminar do DNER de 05/12/1981.
- Ocorrência Oc13: Km 92,800 - talude a jusante da pista.
 - Horário: movimento iniciado após as 16h30min;
 - Descrição: Desenvolvimento de processo erosivo no talude a jusante da pista levando a deflagração de deslizamento de saia do aterro a montante.
 - Conseqüências: Destruição parcial do acostamento demandando reconstrução do aterro e de parte do acostamento.
 - Referências: Planilha CRT + Relatório Tecnosolo de 22/3/82
- Ocorrência Oc14: Km 92,800 - talude a montante da pista.
 - Horário: movimento iniciado após as 16h30min;
 - Descrição: Escorregamento translacional de capa de solo residual sobre rocha atingindo parte da pista.
 - Conseqüências: Após o fim das chuvas, o talude de montante demandou a execução de obras de contenção para a eliminação do risco residual.
 - Referências: Planilha CRT + Relatório da Tecnosolo 11/8/82.
- Ocorrência Oc15: Km 93,000 - talude a montante da pista.
 - Horário: movimento iniciado após as 16h30min;
 - Descrição: escorregamento no talude a montante da pista, mobilizando 10.000m³ de rocha.
 - Conseqüências: Obstrução da pista e criação de situação potencial de risco.
 - Referências: Relatório Preliminar do DNER de 05/12/1981.
- Ocorrência Oc16: Km 93,080 - talude a montante da pista.
 - Horário: movimento iniciado após as 16h30min;
 - Descrição: Deslizamento de talude (provável reativação de pequeno movimento ocorrido antes de nov/1981).

- Conseqüências: O material mobilizado atingiu parte da pista.
 - Referências: Planilha CRT + Relatório da Tecnosolo Nov/1981.
- Ocorrência Oc17: Km 93,400 - talude a jusante da pista.
 - Horário: movimento iniciado após as 16h30min;
 - Descrição: Desenvolvimento de processo erosivo no talude a jusante da pista.
 - Conseqüências: Necessidade de reconstrução parcial do aterro para a eliminação do risco.
 - Referências: Planilha CRT.
- Ocorrências Oc18 (múltipla): Km 93,600 a KM 94,000 (com pontos críticos localizados nos Km 93,600, Km 93,650, Km 93,680, Km 93,690, Km 93,750 e Km 94,000 (próximo ao Posto Garrafão) – envolvendo movimentos iniciados em taludes a montante da pista e que continuaram nos taludes a jusante da pista;
 - Horário: movimentos iniciados após as 16h30min;
 - Descrição: Confluência de vários escorregamentos originando uma Corrida de Detritos ao longo de talvegue existente a montante da pista. O violento fluxo (totalizando cerca de 24.000m³), constituído por material terroso, blocos rochosos e vegetação, rompeu a mureta que margeava a pista, atravessando-a e invadindo o aterro de jusante, ocasionado o rompimento de parte da pista. O fluxo prosseguiu encosta abaixo e atingiu novo trecho de pista. Com a continuação da chuva intensa, o grande fluxo de água proveniente do talvegue deu início a rápido processo de erosão no talude do aterro a jusante da pista.
 - Conseqüências: Acidente que teve início no extravasamento da “Grotta da Santinha”, fluiu pela pista de rolamento e atingiu o Posto Garrafão onde veículos estacionados aguardavam diminuir a intensidade da chuva. Ocorrência soterramento de veículos com vítimas fatais; destruição parcial de trechos da pista (trincas, abatimentos, etc) e interrupção do tráfego por vários dias; após o fim das chuvas, taludes a montante e a jusante da pista ficaram em situação de risco iminente de escorregamento, demandando a execução de inúmeras obras de contenção remediais e preventivas.

- Referências: (1) Relatório Preliminar do DNER/MT de 05/12/1981 referente aos acidentes e às obras relativas às chuvas de 02/12/1981; (2) Relatório Parcial Nº 2 de outubro de 1982 do DNER/MT Diretoria de Manutenção do 7º Distrito Rodoviário Federal - Residência R. 7-2 - Rodovia BR 116/RJ - Trecho Parada Modelo – Teresópolis; (3) Relatório Tecnosolo de Dezembro de 1981, referente aos acidentes das chuvas no início do mês; (4) Relatório Tecnosolo referente ao Projeto executivo da Obra no KM 94,00 (montante); (5) Relatório Tecnosolo de 11/08/82; (6) Relatório da Tecnosolo Dez/1981 e (7) Planilha CRT.

- Ocorrência Oc19: Km 94,000 - talude a jusante da pista.
 - Horário: movimento iniciado após as 16h30min;
 - Descrição: deslizamento da camada de aterro sob meia-pista e acostamento, numa extensão de 36m, mobilizando 20.000m³ de solo.
 - Conseqüências: Danos a pista e criação de situação potencial de risco.
 - Referências: Relatório Preliminar do DNER de 05/12/1981.

- Ocorrência Oc20: Km 94,300 - talude a jusante da pista.
 - Horário: movimento iniciado após as 16h30min;
 - Descrição: deslizamento da camada de aterro sob meia-pista e acostamento, numa extensão de 50m, mobilizando 3000m³ de solo.
 - Conseqüências: Danos a pista e criação de situação potencial de risco.
 - Referências: Relatório Preliminar do DNER de 05/12/1981.

- Ocorrência Oc21: entre Km 94,000 e Km 94,130 – Taludes a montante e a jusante da pista.
 - Horário: movimentos iniciados após as 16h30min;
 - Descrição: Intenso fluxo de água removeu ("lavou") e carrou material superficial que recobria eixo de talvegue a montante da pista, atingindo e ultrapassando a pista causando erosão no talude a jusante da pista. Volume de solo e rocha mobilizado estimado em 1.500m³.
 - Conseqüências: bloqueio da pista. Após o fim das chuvas, os taludes de montante e de a jusante ficaram demandando a execução de obras de contenção para a eliminação do risco.

- Referências: (1) Relatório Preliminar do DNER/MT de 05/12/1981 referente aos acidentes e às obras relativas às chuvas de 02/12/1981; (2) Relatório Parcial Nº 2 de outubro de 1982 do DNER/MT Diretoria de Manutenção do 7º Distrito Rodoviário Federal - Residência R. 7-2 - Rodovia BR 116/RJ - Trecho Parada Modelo – Teresópolis; (3) Relatório Tecnosolo de Dezembro de 1981, referente aos acidentes das chuvas no início do mês; (4) Relatório Tecnosolo referente ao Projeto executivo da Obra no KM 94,00 (montante); (5) Relatório Tecnosolo de 11/08/82; (6) Relatório da Tecnosolo Dez/1981 e (7) Planilha CRT.

- Ocorrência Oc22: Km 94,300 - talude a jusante da pista.
 - Horário: movimento iniciado após as 16h30min;
 - Descrição: Desenvolvimento de processo erosivo no talude a jusante da pista na largura do acostamento, deixando um trecho em "balanço" com cerca de 10m de extensão.
 - Conseqüências: Necessidade de reconstrução parcial do aterro para a eliminação do risco.
 - Referências: Planilha CRT + Relatório da Tecnosolo 11/8/82

- Ocorrência Oc23: Km 94,340 – trecho de encosta entre dois segmentos da pista
 - Horário: movimento iniciado após as 16h30min;
 - Descrição: Escorregamento translacional de capa de solo com blocos rochosos, deixando a superfície da rocha exposta ("lavada").
 - Conseqüências: O material mobilizado atingiu parte da pista. Após o fim das chuvas, o talude de montante demandou intervenções para a eliminação do risco residual.
 - Referências: Planilha CRT + Relatório da Tecnosolo 11/8/82.

- Ocorrência Oc24: Km 94,340 - talude a jusante da pista.
 - Horário: movimento iniciado após as 16h30min;
 - Descrição: Erosão no talude a jusante da pista de subida.
 - Conseqüências: Destruição do acostamento deixando pista em balanço por vários meses. Após o fim das chuvas, o talude de jusante

demandou a execução de obras de contenção para a eliminação do risco residual.

- Referências: Planilha CRT + Relatório Tecnosolo de 22/3/1982 ref. Projeto Executivo das obras (cortina, DHP, drenagem) para o “Acidente 25”.

- Ocorrência Oc25: Km 94,390 - talude a montante da pista.
 - Horário: movimento iniciado após as 16h30min;
 - Descrição: Instabilidade de taludes rochosos dando início a pequenos desprendimentos de blocos e lascas rochosos.
 - Conseqüências: Obras de estabilização preventivas foram executadas para impedir novos desprendimentos.
 - Referências: Planilha CRT.

- Ocorrência Oc26: Km 94,450 - talude a montante da pista.
 - Horário: movimento iniciado após as 16h30min;
 - Descrição: Desenvolvimento de processo erosivo superficial no talude a montante da pista.
 - Conseqüências: Parte da pista de rolamento foi atingida.
 - Referências: Planilha CRT.

- Ocorrência Oc27: Km 94,500 - talude a jusante da pista.
 - Horário: movimento iniciado após as 16h30min;
 - Descrição: deslizamento da camada de aterro sob meia-pista e acostamento, numa extensão de 30m, mobilizando 30.000m³ de solo.
 - Conseqüências: Danos a pista e criação de situação potencial de risco.
 - Referências: Relatório Preliminar do DNER de 05/12/1981.

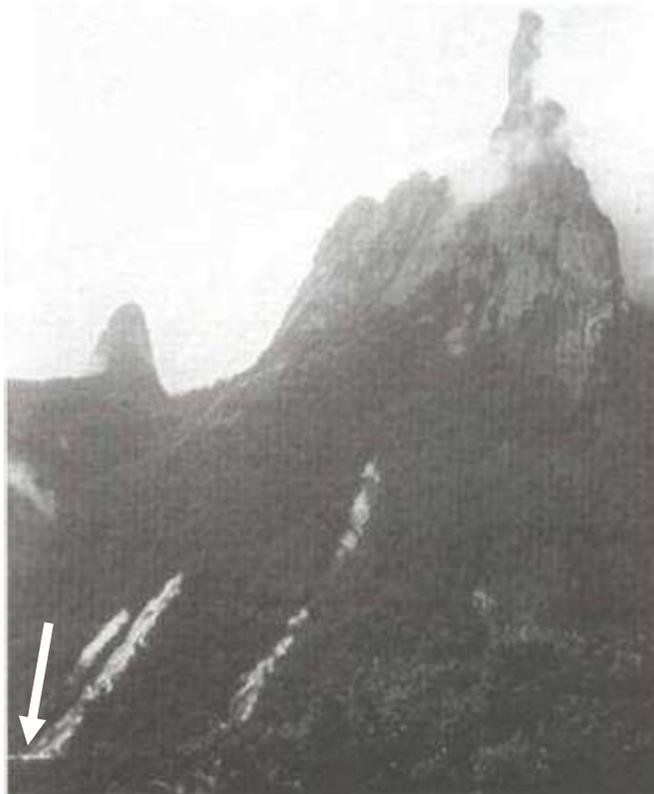
- Ocorrência Oc28: Km 94,650 - talude a montante da pista.
 - Horário: movimento iniciado após as 16h30min;
 - Descrição: escorregamento no talude a montante da pista, mobilizando 20.000m³ de solo e rocha.
 - Conseqüências: Obstrução da pista e criação de situação potencial de risco.

- Referências: Relatório Preliminar do DNER de 05/12/1981.

- Ocorrência Oc29: Km 96,000 - talude a montante da pista.
 - Horário: movimento iniciado após as 16h30min;
 - Descrição: escorregamento no talude a montante da pista, mobilizando 10.000m³ de solo e rocha.
 - Conseqüências: Obstrução da pista e criação de situação potencial de risco.
 - Referências: Relatório Preliminar do DNER de 05/12/1981.

- Ocorrência Oc30: Km 98,800 - talude a montante da pista.
 - Horário: movimento iniciado após as 16h30min;
 - Descrição: Escorregamento translacional de solo, blocos de rocha e vegetação.
 - Conseqüências: O material mobilizado atingiu parte da pista.
 - Referências: Planilha CRT.

- Ocorrência Oc31: Km 98,800 - talude a montante da pista.
 - Horário: movimento iniciado após as 16 h 30 min;
 - Descrição: Deslizamento translacional de solo sobre rocha atingindo parte da pista.
 - Conseqüências: bloqueio parcial da pista. Após o fim das chuvas, o talude de montante demandou a execução de obras de contenção para a eliminação do risco residual.
 - Referências: (1) Relatório Preliminar do DNER/MT de 05/12/1981 referente aos acidentes e às obras relativas às chuvas de 02/12/1981; (2) Relatório Parcial Nº 2 de outubro de 1982 do DNER/MT Diretoria de Manutenção do 7º Distrito Rodoviário Federal - Residência R. 7-2 - Rodovia BR 116/RJ - Trecho Parada Modelo – Teresópolis; (3) Relatório Tecnosolo de Dezembro de 1981, referente aos acidentes das chuvas no início do mês; (4) Relatório Tecnosolo referente ao Projeto executivo da Obra no KM 94,00 (montante); (5) Relatório Tecnosolo de 11/08/82; (6) Relatório da Tecnosolo Dez/1981 e (7) Planilha CRT.



Figuras A3.2 e A3.3 - Deslizamentos translacionais de solo superficial assente diretamente sobre maciço rochoso pouco alterado. A maioria dos movimentos ocorreu após as 16 horas e 30 minutos do dia 02 de dezembro de 1981, quando, na região da Serra dos Órgãos, segundo Relatório da Tecnosolo RE 3497/91 de 25/01/1991 foram registradas precipitações pluviométricas de até 288mm/24h. A Figura A3.2 mostra algumas cicatrizes remanescentes dos escorregamentos que atingiram a Rodovia no trecho a jusante do Pico Dedo de Deus. A seta em cor branca aponta para a pista de rolamento da BR 116. A Figura A3.3 mostra detalhe de um dos escorregamentos planares que contribuiu para o acidente no Posto Garrafão, cujo material mobilizado soterrou veículos e produziu vítimas fatais que se abrigavam do temporal. Imagens obtidas em FERNADES e AMARAL (1998).

Evento: **Ev5**

- Data: 02/02/1988 e 03/02/1988;
- Categoria: Muito Importante;
- Ocorrência Oc32: Km 95,600 – talude a jusante da pista;
 - Horário: precipitação contínua desde a noite 02/02 até a manhã de 03/02;
 - Descrição: desenvolvimento de processo erosivo com evolução para ocorrência de deslizamento. Trata-se da reativação de um movimento ocorrido no ano de 1981.
 - Conseqüências: Obras complementares (que deveriam ter sido concluídas em 1981) tiveram que ser executadas para eliminação do risco de comprometimento de parte da pista de rolamento;
 - Referências: Relatórios Tecnosolo RE 3376/89 (20.12) de 08/12/89 e RE 2069/81 (20.120).

- Ocorrência Oc33: Km 96,600 – talude a jusante da pista;
 - Descrição: Escorregamento translacional ao longo do plano de contato entre camada superficial de solo coluvionar e o maciço rochoso imediatamente sobrejacente.
 - Conseqüências: Danos observados na pista de rolamento (trincas e abatimentos) e na cortina ancorada existente. Interdição parcial da pista até a conclusão das intervenções para eliminação do risco;
 - Referências: Relatórios Tecnosolo RE 3293/89 (20.12) de 23/3/89 + Planilha CRT.

- Ocorrências Oc34 (múltipla): Km 92,500; Km 93,800 e Km 94,300 – taludes a montante e a jusante da pista;
 - Descrição: Escorregamentos translacionais associados entre si. O movimento teve início no Km 92,5 junto ao bordo direito, interditando o acostamento e parte da pista; em seguida se precipitou sobre o Km 93,8 parando no KM 94,3, atingindo, assim, 3 níveis da Rodovia, com término na região da “Curva do Garrafão” (≈ KM 94,3). Movimento similar à ocorrência Oc4, em termos de posicionamento geográfico e de tipologia.

- Conseqüências: Obstrução integral do tráfego por alguns dias; danos à pista de rolamento e necessidade de execução de obras de estabilização remediais e preventivas.
- Referências: Relatório Tecnosolo RE 3114/88 (20.12) de 21/03/1988 + Relatório Tecnosolo RE 3130/88 (20.12) + Planilha CRT.

Evento: Ev6

- Data: 08/12/1989;
- Categoria: Simples;
- Ocorrência Oc35: Km 95,600 – talude a jusante da pista;
 - Descrição: desenvolvimento de processo erosivo com evolução para ocorrência de deslizamento. Trata-se, provavelmente, de reativação da Ocorrência Oc18.
 - Conseqüências: Danos a rodovia (início de formação de trincas) e execução de obras complementares para eliminação do risco de maior comprometimento da pista de rolamento;
 - Referências: Planilha CRT.

Evento: Ev7

- Data: 17 e 18/01/1991;
- Categoria: Muito Importante (Ocorrência de pelo menos 25 escorregamentos significativos no trecho da Rodovia entre os Km 86 e Km 101, sendo 14 a montante e 9 a jusante da pista. Fora da área de interesse da Tese, registro de 22 ocorrências significativas: Km 0,1; Km 26,8; Km 28,7; Km 28,8; Km 29,2; Km 30; Km 30,95; Km 32,9; Km 33,1; Km 33,2; Km 33,5; Km 49,2; Km 56; Km 62; Km 63; Km 66; Km 67,5; Km 70; Km 82,1; Km 82,8; Km 83 e Km 84).

No dia 21 de janeiro de 1991 (três dias após o término do Evento Ev7), o então Engenheiro Chefe da R.7/2 (DNER), Eduardo Peres Auá, produziu um Relatório Preliminar que descreve e analisa as ocorrências na Rodovia. Neste documento Auá (1991) relata que: “Desde o início de Janeiro até a presente data a região da Serra dos Órgãos foi assolada por chuvas constantes sendo que nos dias 17 e 18, a precipitação apresentou características de tromba d’água provocando queda de

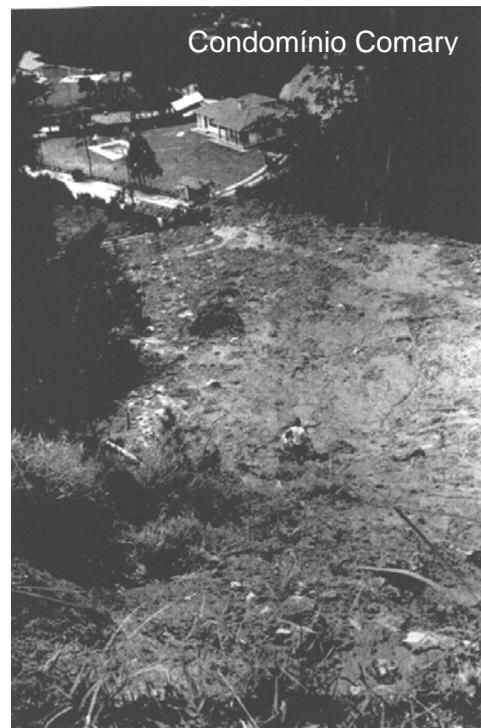
barreiras em diversos pontos da Rodovia. A situação crítica prolongou-se por todo o dia 17 e madrugada do dia 18, embora a R 7/2 tenha restabelecido o tráfego. Na tarde do dia 17, houve por bem, por medida de precaução, interditar novamente o trecho da Serra, o que evitou conseqüência de perdas materiais e humanas.” Ainda no Relatório Preliminar de 21 de janeiro de 1991, são relacionados 23 pontos com danos a pista divididos em “Barreiras” (interpretadas na presente Tese como *escorregamentos em taludes a montante da pista*) e em “Aterros” (*deslizamentos parciais ou integrais da camada de aterro som a pista*), sendo que dos 23 locais, 4 encontram-se fora da área de interesse da Tese. Os locais com danos à pista decorrentes de movimentos de massa deflagrados pelas chuvas dos dias 17 e 18 de janeiro de 1991 são apresentados na Tabela 4.3. Dentre as diversas ocorrências destacou-se aquela referente ao Km 98,700 (Oc37) que mobilizou cerca de 60.000m³ de aterro, impedindo o tráfego por vários dias dificultando sobremaneira o acesso de veículos emergenciais e de apoio para execução de vistorias, remoção de material sobre a pista. De acordo com reportagem do jornal O Globo, de 20 de janeiro de 1991, além dos danos à pista o acidente também atingiu 3 casas e ocasionou 11 mortes.

A análise de outros documentos mostrou a existência de outros locais de acidentes não listadas na relação apresentada naquele Relatório Preliminar. Estes locais que foram descritos em outros documentos constituem as Ocorrências individuais do Evento Ev7 (Oc 36 a Oc60).

Tabela A3.3 – Resumo dos pontos com danos a pista de rolamento da BR 116 / RJ durante o evento chuvoso dos dias 17 e 18 de janeiro de 1991, apresentado no Relatório Preliminar do Engenheiro Chefe da R. 7/2 (DNER) no dia 21/01/1991.

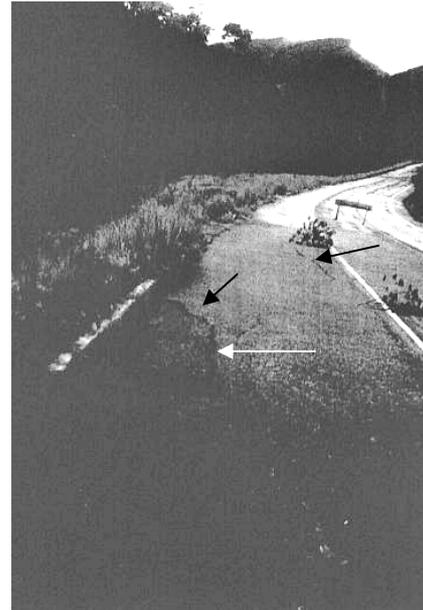
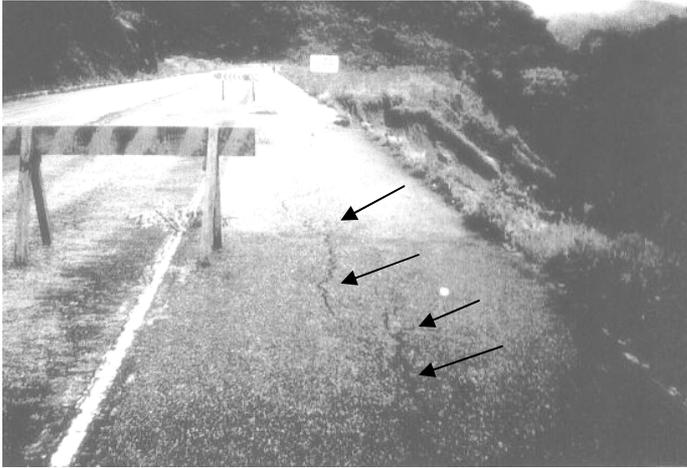
	Localização (Km)	Volume do material mobilizado (m³)	Tipologia do Material mobilizado
"Barreira" (escorregamento no talude a montante da pista)	83,000	2.000	solo
	83,100	500	
	83,200	100	
	91,900	600	solo/rocha
	92,500	700	
	93,000	5.000	
	94,600	300	solo
	96,200	200	
	96,210	300	
	98,000	400	
	99,000	2.000	
	99,100	800	solo/rocha
	99,200	2.000	
	101,000	100	solo
Aterro (deslizamentos parcial ou integral da camada de aterro som a pista)	82,800	4.000	Camada de aterro sob acostamento
	86,000	300	Saia do aterro
	87,900	6.000	
	91,800	4.000	Camada de aterro sob acostamento e saia
	96,050	4.000	Camada de aterro sob acostamento e pista
	96,220	300	Saia do aterro
	98,700	60.000	Toda a camada de aterro sob a pista (150m de extensão)
	99,500	4.000	Saia do aterro
	100,000	2.000	Camada de aterro sob acostamento e pista

- Ocorrência Oc36: Km 86,000 – talude a jusante da pista;
 - Descrição: Escorregamento rotacional de parte do aterro sob a pista de rolamento, mobilizando cerca de 300m³ de material terroso.
 - Conseqüências: Sérios danos à pista (destruição do acostamento e parte da pista de rolamento), levando a interrupção parcial do tráfego. Alguns terrenos do Condomínio Comary foram parcialmente atingidos. Houve necessidade de reconstrução do aterro e de drenagem superficial e profunda;
 - Referências: Relatório Tecnosolo RE.3497/91 de 25 de janeiro de 1991 e Planilha CRT.



Figuras A3.4 a – A3.7 Oc 36: Km 86,000 – Ruptura da saia do aterro ocasionando destruição parcial da pista de rolamento.

- Ocorrência Oc37: Km 87,900 – talude a jusante da pista;
 - Descrição: Escorregamento rotacional parcial do aterro sob a pista de rolamento, mobilizando cerca de 600m³ de material terroso.
 - Conseqüências: Sérios danos à pista (destruição da saia do aterro e do acostamento) levando a interrupção parcial do tráfego. Houve necessidade de reconstrução do aterro;
 - Referências: Relatório Tecnosolo RE.3497/91 de 25 de janeiro de 1991e Planilha CRT.

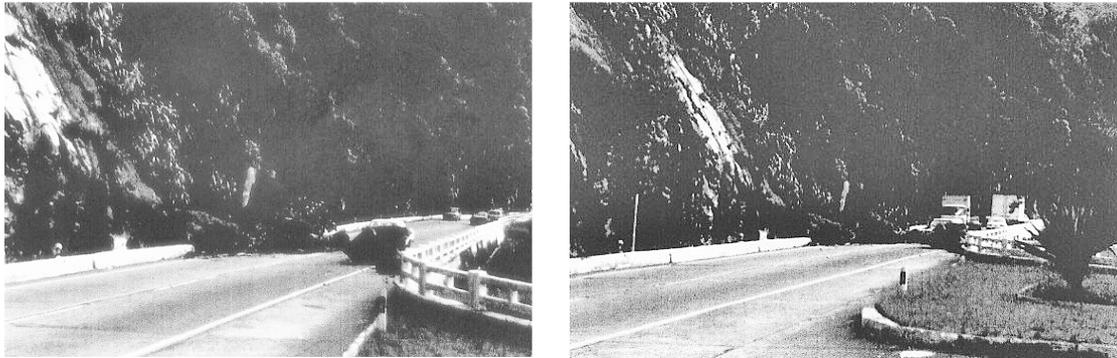


Figuras A3.8 e A3.9 Oc 37: Km 87,900 – Ruptura da saia do aterro ocasionando destruição parcial da pista de rolamento.

- Ocorrência Oc38: Km 89,700 – talude a jusante da pista;
 - Descrição: Pequena mobilização do aterro sob a pista de rolamento, devido a grande infiltração, ocasionando abatimentos.
 - Conseqüências: Leves danos à pista (abatimento e trincas). Houve necessidade de execução de drenagem superficial e profunda e de recapeamento asfáltico;
 - Referências: Relatório Tecnosolo RE.3497/91 de 25 de janeiro de 1991e Planilha CRT.

- Ocorrência Oc39: Km 90,000 – talude a montante da pista;
 - Descrição: Escorregamento translacional de aproximadamente 50m³ de material predominantemente terroso, rochoso e vegetal em talude a montante da pista.

- Conseqüências: Parte da pista foi atingida pelo material escorregado, interrompendo parcialmente o tráfego no local. ;
- Referências: Relatório Tecnosolo RE.3497/91 de 25 de janeiro de 1991.



Figuras A3.10 e A3.11– Oc 39: Km 90,000 - Escorregamento da translacional atingindo a pista.

- Ocorrência Oc40: Km 91,800 – talude a jusante da pista;
 - Descrição: Escorregamento rotacional (provável) parcial da saia do aterro sob a pista de rolamento, mobilizando cerca de 4000m³ de material terroso.
 - Conseqüências: Sérios danos à pista (abatimento, trincas e destruição integral do acostamento e parcial da pista) levando a interrupção parcial do tráfego. Houve necessidade de reconstrução do aterro e parcial de um trecho da pista;
 - Referências: Relatório Tecnosolo RE.3497/91 de 25 de janeiro de 1991, Relatório Tálus Ltda de 29/04/1991 e Planilha CRT.



Figura A3.12 Oc 40: Km 91,800 – Ruptura da saia do aterro ocasionando destruição parcial da pista de rolamento.

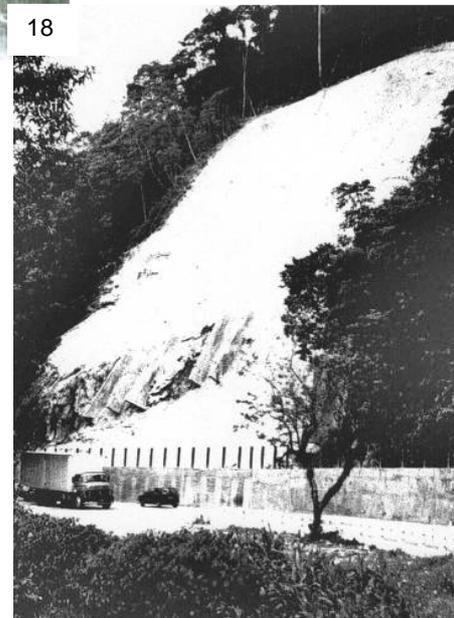
- Ocorrência Oc 41: Km 91,900 – talude a montante da pista;
 - Descrição: Escorregamento translacional de aproximadamente 600m³ de material predominantemente terroso e rochoso em talude a montante da pista.
 - Conseqüências: Parte da pista foi atingida pelo material escorregado, interrompendo parcialmente o tráfego no local. ;
 - Referências: Relatório Tecnosolo RE.3497/91 de 25 de janeiro de 1991 e Planilha CRT.

- Ocorrência Oc42: Km 92,500 – talude a montante da pista;
 - Descrição: Escorregamento translacional de aproximadamente 700m³ de material terroso em talude a montante da pista. Provável reativação de movimento ocorrido no mesmo local em fevereiro de 1988.
 - Conseqüências: Parte da pista foi atingida pelo material escorregado (bloqueio integral do acostamento), interrompendo parcialmente o tráfego no local.
 - Referências: Relatório Tecnosolo RE.3497/91 de 25 de janeiro de 1991 e Planilha CRT.



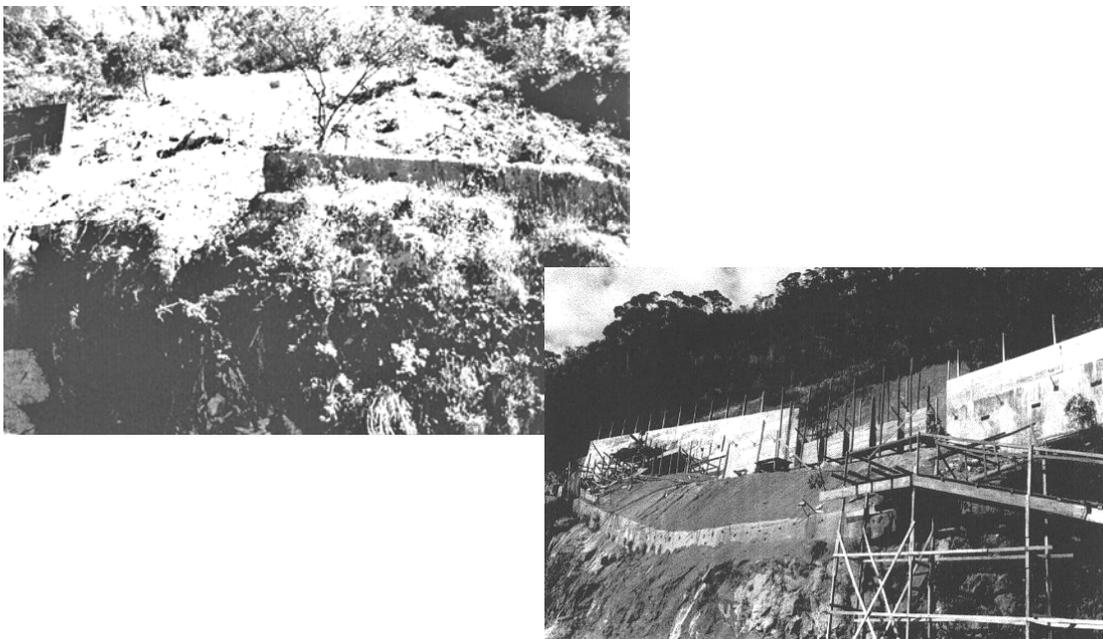
Figuras A3.13 e A3.14– Oc 42: Km 92,500 - Escorregamento da translacional atingindo a pista.

- Ocorrência Oc43: Km 93,000 – talude a montante da pista;
 - Descrição: Provável escorregamento translacional de grande volume (cerca de 5000m³) material terroso (coluvionar) sobre plano rochoso alterado (maciço rochoso), blocos de rocha e vegetação.
 - Conseqüências: Toda a pista foi atingida pelo material escorregado, interrompendo integralmente o tráfego no local por vários dias. Houve a destruição de um muro de concreto que ali existia e a necessidade construção de desvio provisório até reconstrução da pista.
 - Referências: Relatório Tecnosolo RE.3497/91 de 25 de janeiro de 1991 (com Relatório Fotográfico das obras que foi anexado após conclusão dos serviços, sem informação de data da anexação) e Planilha CRT.

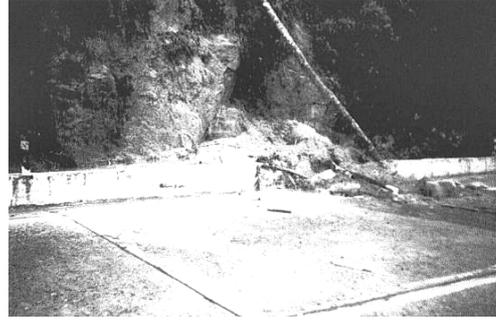


Figuras A3.15 a – A3.18 Oc 43: Km 93,000 – Grande movimentação de solo e blocos rochosos em talude a montante da pista, ocasionando a destruição de um muro de concreto existente e interrupção total do tráfego. A Figura A3.18 mostra o muro já reconstruído.

- Ocorrência Oc44: Km 94,600 – talude a montante da pista;
 - Descrição: Provável escorregamento translacional de aproximadamente 300m³ de material predominantemente terroso (coluvionar) sobre plano rochoso alterado (maciço rochoso). No Relatório da Tecnosolo RE.3497/91 (vide Referências abaixo), no item “Diversos” existe a menção de um outro escorregamento planar, de pequenas dimensões, (provavelmente distando poucos metros da Oc 44) cuja localização é, igualmente, KM 94,600. O material mobilizado neste outro escorregamento (solo, blocos e vegetação) apenas atingiu o acostamento da pista.
 - Conseqüências: Toda a pista foi atingida pelo material escorregado, interrompendo integralmente o tráfego no local. Houve a destruição parcial de um muro de concreto existente (antiga estrutura de impacto). Houve necessidade de execução de retaludamento, reconstrução do muro e de execução de contrafortes ancorado em rocha;
 - Referências: Relatório Tecnosolo RE.3497/91 de 25 de janeiro de 1991 (com Relatório Fotográfico das obras que foi anexado após conclusão dos serviços, sem informação de data da anexação) e Planilha CRT.



Figuras A3.19 e A3.20 Oc 44: Km 94,600 – Provável escorregamento translacional de solo e blocos rochosos em talude a montante da pista, ocasionando a destruição parcial de um muro de concreto (estrutura de impacto) existente e interrupção total do tráfego. A Figura A3.20 mostra o muro durante sua reconstrução.



Figuras A3.21 e A3.22 Oc 44 (secundária): Km 94,600 – escorregamento translacional de solo e blocos rochosos em talude a montante da pista, atingindo o acostamento.

- Ocorrência Oc 45 : Km 96,050 – talude a jusante da pista;
 - Descrição: Grande mobilização do aterro sob a pista de rolamento (intenso processo erosivo), mobilizando cerca de 4000m³ de material terroso..
 - Conseqüências: Sérios danos à pista (destruição integral da saia do aterro e de um trecho do acostamento, deixando as placas de concreto da rodovia em situação de “balanço”) com interrupção parcial do tráfego naquele ponto. Houve necessidade de execução de obra de contenção para permitir a reconstrução parcial do aterro e da pista.;
 - Referências: Relatório Tecnosolo RE.3497/91 de 25 de janeiro de 1991 (com Relatório Fotográfico das obras que foi anexado após conclusão dos serviços, sem informação de data da anexação) e Planilha CRT.

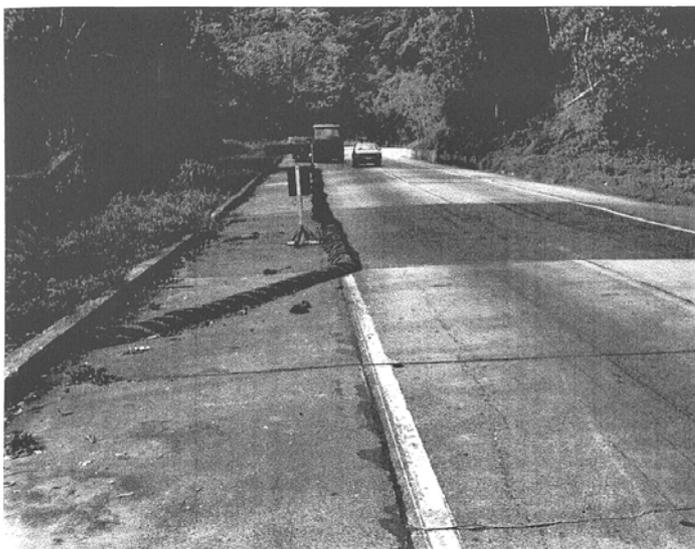


Figuras A3.23 e A3.24 Oc 45: Km 96,050 – Intenso processo erosivo levando a destruição da saia de aterro sob a pista e conseqüente destruição parcial do acostamento, deixando placas de concreto em situação de balanço. A Figura A3.24 Mostra a obra de contenção executada e reconstrução integral do trecho da pista afetado.

- Ocorrência Oc46: Km 96,200 a 96,210 – talude a montante da pista;
 - Descrição: Escorregamento aproximadamente 500 m³ de solo em talude a montante da pista.
 - Conseqüências: Parte da pista foi atingida pelo material escorregado, interrompendo parcialmente o tráfego no local;
 - Referências: Relatório Tecnosolo RE.3497/91 de 25 de janeiro de 1991e Planilha CRT.

- Ocorrência Oc 47: Km 96,050 – talude a jusante da pista;
 - Descrição: Grande mobilização do aterro sob a pista de rolamento (provável escorregamento rotacional), mobilizando cerca de 4000m³ de material terroso..
 - Conseqüências: Sérios danos à pista (destruição integral de um trecho do acostamento, deixando as placas de concreto da rodovia em situação de “balanço”) com interrupção parcial do tráfego naquele ponto. Houve reconstrução parcial do aterro e da pista.;
 - Referências: Relatório Tecnosolo RE.3497/91 de 25 de janeiro de 1991e Planilha CRT.

- Ocorrência Oc 48 : Km 96,220 – talude a jusante da pista;
 - Descrição: Escorregamento na saia do aterro a jusante da pista em decorrência do entupimento do sistema de drenagem (bueiros). O material mobilizado (terroso) totalizou cerca de 300m³.
 - Conseqüências: Sérios danos à pista, com formação de trincas e abatimentos por uma extensão de aproximadamente 15m. Houve necessidade de interdição do acostamento com interrupção parcial do tráfego naquele ponto. Houve reconstrução parcial do aterro e da pista e do sistema de drenagem.
 - Referências: Relatório Interno do DNER de 23 de janeiro de 1991 do Subdiretor do Instituto de Pesquisas Rodoviária (Engo. Genésio Almeida da Silva) para o Engo. Subchefe do 7º Distrito Rodoviário Federal + Planilha CRT + Relatório Tecnosolo RE.3497/91 de 25 de janeiro de 1991.



Figuras A3.25 e – A3.26 Oc 48: Km 96,220 – Ruptura parcial do aterro ocasionando trincas, abatimentos e interdição do acostamento.

- Ocorrência Oc49: Km 96,500 – talude a jusante da pista;
 - Descrição: Escorregamento na saia do aterro sob a pista de rolamento, em trecho da rodovia sobre talvegue que foi aterrado.
 - Conseqüências: Sérios danos à pista, com destruição da saia do aterro e de parte da pista de rolamento. Interrupção parcial do tráfego por alguns meses. Houve necessidade de reconstrução parcial do aterro e da pista;
 - Referências: Relatório Tálus Ltda de 29/04/1991 e Planilha CRT.

- Ocorrência Oc50: Km 98,000 – talude a montante e a jusante da pista;
 - Descrição: Escorregamento com volume total em torno de 400m³ de solo, rocha e vegetação em talude a montante da pista, provocando o entupimento da rede de drenagem (bueiro, canaletas, etc), comprometendo o aterro e interrompendo o tráfego. O material escorregado encobriu toda a pista e se precipitou pelo talude de jusante (aterro).
 - Conseqüências: Interrupção do tráfego no local e necessidade de construção de uma variante na encosta a montante para restabelecer o tráfego e permitir a reconstrução do aterro e da pista de concreto.;

- Referências: Relatório Interno do DNER de 23 de janeiro de 1991 do Subdiretor do Instituto de Pesquisas Rodoviária (Engo. Genésio Almeida da Silva) para o Engo. Subchefe do 7º Distrito Rodoviário Federal + Planilha CRT + Relatório Tecnosolo RE.3497/91 de 25 de janeiro de 1991.
- Ocorrência Oc51: Km 98,700 (em alguns documentos, citado como KM 98,500) – talude a jusante da pista;
 - Horário: aproximadamente às 03horas do dia 18/01/1991;
 - Descrição: Grande ruptura do aterro (provável escorregamento rotacional) sob a pista, numa extensão de aproximadamente 150m, mobilizando cerca de 60.000m³ de material.
 - Conseqüências: Destruição integral da pista por cerca de 100m e parcial (trincas, abatimentos, etc) por mais 50m; interrupção integral do tráfego por vários dias (necessidade de execução de acesso temporário, que foi utilizado por vários meses, até a reconstrução da pista).

Em função da dimensão da ocorrência, e considerando ter sido o presente um daqueles raros casos com maiores discussões, entende-se que se justifica a reprodução parcial de dois documentos específicos sobre o acidente em questão: o Relatório RE.3497/91 da Tecnosolo, de 25 de janeiro de 1991, assinado pelos engenheiros Antônio Carlos M. Berbert e Paulo Henrique V. Dias e o Relatório (S/N) encaminhado ao Engenheiro Subchefe do 7º DRF (Distritos Rodoviários Federais do DNER) pelo Subdiretor do Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR), o engenheiro Genésio Almeida da Silva, no dia 23 de Janeiro de 1991.

Parte do Relatório RE.3497/91 da Tecnosolo, de 25 de janeiro de 1991:

“1 – CARACTERÍSTICAS GERAIS

O local afetado situa-se nas proximidades do Km 98+700m da rodovia BR-116/RJ, trecho RIO-TERESÓPOLIS.

Trata-se de um segmento em tangente executado em aterro a meia encosta, onde num dos bordos da estrada pode-se observar, no nível desta, o terreno natural cortado na época da construção, que data de 1955.

A maior parte deste corte foi executado em solo, observando-se também rocha alterada e rocha sã, esta junto a um dos limites da área destruída (lado do Rio de Janeiro). O talude resultante do corte é relativamente alto e apresenta inclinação acentuada. Provavelmente o material cortado foi utilizado na construção do aterro.

No outro lado da estrada o aterro desenvolvia-se sobre o terreno natural, que certamente apresenta forte inclinação. O pé do aterro neste lado situava-se cerca de 30m abaixo do greide, nas proximidades da margem direita do córrego Lava-Pés, afluente do rio Soberbo.

2 – O ACIDENTE

No dia 18 de janeiro de 1991, aproximadamente às 3 horas da manhã, após período prolongado de chuvas e em dia de precipitação excepcional, ocorreu a destruição de grande parte deste aterro. A pista de rolamento foi totalmente seccionada num trecho da ordem de 50m e parcialmente danificada em outros 50m, entretanto o aterro ao longo de um trecho de mais de 100m foi seriamente atingido.

Existem indícios de que o movimento afetou também uma região situada a cerca de 200m em direção ao Rio de Janeiro, no prolongamento deste mesmo aterro. Podem ser observadas fissuras entre o meio fio e o acostamento com aberturas de alguns centímetros e com menores dimensões entre placas do pavimento do acostamento.

3 – CARACTERÍSTICAS E CAUSAS DO ACIDENTE

O histórico do trecho nunca revelou acidentes anteriores no local.

Pela inspeção visual realizada em 21 de janeiro, 3 dias após o acidente, pode-se observar que:

- a – houve um escorregamento de grandes proporções que destruiu totalmente o aterro na parte mais afetada e parte da saia ao longo de considerável extensão;
- b – as regiões limítrofes estão certamente afetadas pelo movimento, sendo constatadas trincas em alguns locais;
- c – a massa de terra deslocada, avaliada preliminarmente como da ordem de 60.000m³, foi praticamente toda carregada pela água, uma vez que o material escorregado existente imediatamente a jusante é de volume insignificante em relação ao vazio resultante do escorregamento;
- d – o pequeno córrego (Lava-Pés) existente nas imediações do pé do aterro teve fluxo excepcional;
- e – houve um escorregamento de médias proporções no talude natural da margem esquerda deste córrego em frente ao local afetado. É perfeitamente identificável o volume que se instabilizou junto com a vegetação que ainda o cobre;
- f – este deslizamento provavelmente foi causado pela incidência prolongada das chuvas na região, com conseqüente saturação do terreno, e eventual erosão na base. Em épocas de chuvas muito intensas, nesta região, face as características hidrológicas geológicas e topográficas específicas, são comuns pontos de escorregamentos localizados no meio da mata, onde não existe a interferência do homem;

g – o escorregamento da margem esquerda deslocou uma massa de terra suficiente para interromper totalmente o fluxo por algum tempo, represando águas e desviando o córrego para a margem direita, de encontro ao pé do aterro;

h – tudo indica que este fluxo de água iniciou um processo de erosão progressiva, pela base, com descalçamentos que foram instabilizando o aterro até o colapso total do mesmo, destruindo parte da rodovia. Nesta situação, com a drenagem superficial danificada, as águas que escoavam pela superfície do pavimento se precipitaram sobre a região em processo de deslizamento agravando mais ainda a situação.

i – a calha do córrego Lava-Pés, a partir do local do acidente, teve suas margens totalmente lavadas, observando-se nitidamente a remoção de toda a vegetação e terra vegetal existentes, numa altura avaliada em cerca de 4 a 5m, mostrando a força com que a massa fluída de terra e água percorreu o vale;

j – o deslizamento removeu grande parte do aterro, que levou consigo várias placas do pavimento. Uma parte do acostamento com cerca de 50m de extensão sofreu um abatimento de aproximadamente 3m, por estar situada na crista de uma das superfícies de deslizamento. Outras placas ficaram em balanço.

L – a situação atual do volume remanescente deste aterro é de instabilidade, constatada não só pelo aspecto visual do local do acidente, como também por trincas na superfície ao longo de aproximadamente 100 a 150m nas vizinhanças da região que sofreu o colapso. Desta forma, a incidência de novas chuvas fortes na região poderão ampliar a região acidentada.

m – embora ainda não sejam disponíveis dados oficiais, sabe-se que a intensidade de chuva ocorrida no dia do acidente foi da mesma ordem de grandeza da medida em 2 de dezembro de 1981, 288m/24h no pluviógrafo do Posto do Garrafão, quando o trecho da serra de Teresópolis sofreu danos maiores que os atuais.”

Parte do Relatório (S/N) encaminhado ao Engenheiro Subchefe do 7^o DRF de 23 de janeiro de 1991:

“DESCRIÇÃO DO LOCAL

Trata-se de uma seção mista, onde a parte de montante é constituída de um maciço rochoso e a de jusante, de um aterro de solo, conforme mostra, aproximadamente, na figura abaixo:

HIPÓTESES PROVÁVEIS DO DESLIZAMENTO

Sabe-se que durante uma tromba d’água ou apenas uma chuva muito intensa, frequentemente ocorridas na região da Serra de Teresópolis, que os seus córregos e rios, enchem rapidamente devido ao pequeno tempo de concentração imposto pela topografia local e alguns batólitos bastantes lisos. E, naturalmente, por ser uma região serrana, os fluxos possuem grandes velocidades e forças de percolação.

Diante do parágrafo anterior, presume-se que primeiro houve o escorregamento à direita do córrego assinalado, no esquema simplificado, e, conseqüentemente o fluxo

foi barrado, saturando o aterro da rodovia e provocando a sua instabilidade, possivelmente por dois motivos:

a – mudança do sinal negativo para positivo do tensor hidrostático, reduzindo-se as pressões entre os grãos sólidos a valores próximos de zero.

b – grande pressão de percolação, possivelmente verificada dentro da massa de solo saturada, sobretudo, quando houve o rompimento da barragem formada pelo escorregamento à direita do córrego.

A experiência tem demonstrado, em varias rodovias do Brasil, que nestes casos, nenhum aterro resistirá, mesmo sendo bem construído, como é o exemplo do Km 98,5, com mais de 30 anos de serviço sem nenhum problema.”

- Referências: Relatório Interno do DNER de 23 de janeiro de 1991 do Subdiretor do Instituto de Pesquisas Rodoviária (Engo. Genésio Almeida da Silva) para o Engo. Subchefe do 7º Distrito Rodoviário Federal + Planilha CRT + Relatório Tecnosolo RE.3497/91 de 25 de janeiro de 1991.



Figuras A3.27 e – A3.28 Oc 51: Km 98,700 – Ruptura total do aterro ocasionando a interrupção do acesso a Teresópolis por vários dias.



Figura A3.29 – Foto retirada do jornal O Globo (19/01/1991)

- Ocorrência Oc52: Km 98,900 – talude a montante da pista;
 - Descrição: Escorregamento de material constituído por solo e blocos de rocha em talude a montante da pista.
 - Conseqüências: Parte da pista foi atingida pelo material escorregado, interrompendo parcialmente o tráfego no local; houve necessidade de reconstrução de um bueiro de greide (BSTC Ø = 1,00m) bem como a descida d'água captando as águas da pista e da banquetta intermediária, indo desaguar na canaleta de concreto armado do córrego Lava-Pés.
 - Referências: Auá, 1991e Planilha CRT.



Figura A3.30 – Oc 52: Km 98,900 – Escorregamento com crista em talude a montante da pista, porém com sérias conseqüências ao sistema de drenagem e ao talude de jusante.

- Ocorrência Oc 53: Km 99,000 – talude a montante da pista;
 - Descrição: Escorregamento translacional de aproximadamente 2000m³ de material predominantemente terroso em talude a montante da pista.
 - Conseqüências: Parte da pista foi atingida pelo material escorregado, interrompendo parcialmente o tráfego no local. ;
 - Referências: Relatório Tecnosolo RE.3497/91 de 25 de janeiro de 1991e Planilha CRT.

- Ocorrência Oc54: Km 99,100 – talude a montante da pista;
 - Descrição: Escorregamento de material constituído por solo, rocha e vegetação, totalizando um volume aproximado de 800m³, com ponto de origem em talude a montante da pista.
 - Conseqüências: Parte da pista foi atingida pelo material escorregado, interrompendo parcialmente o tráfego no local;
 - Referências: Relatório Tecnosolo RE.3497/91 de 25 de janeiro de 1991e Planilha CRT.



Figuras A3.31 e A3.32 – Oc 54: Km 99,100 - Escorregamento da translacional atingindo a pista.

- Ocorrência Oc55: Km 99,200 – talude a montante da pista;
 - Descrição: Escorregamento translacional pouco profundo envolvendo material constituído por solo, rocha e vegetação, totalizando um volume aproximado de 2000m³, com ponto de origem em talude a montante da pista.
 - Conseqüências: Parte da pista foi atingida pelo material escorregado, interrompendo parcialmente o tráfego no local;
 - Referências: Relatório Tecnosolo RE.3497/91 de 25 de janeiro de 1991 e Planilha CRT.



Figura A3.33– Oc 55: Km 99,200 - Escorregamento da translacional atingindo a pista.

- Ocorrência Oc56: Km 99,300 – talude a montante da pista;
 - Descrição: Escorregamento de material constituído por solo, rocha e vegetação, totalizando um volume aproximado de 1000m³, com ponto de origem em talude a montante da pista.
 - Conseqüências: Parte da pista foi atingida pelo material escorregado, interrompendo parcialmente o tráfego no local;
 - Referências: Relatório Tecnosolo RE.3497/91 de 25 de janeiro de 1991 e Planilha CRT.



Figuras A3.34 e A3.35 – Oc 56: Km 99,300 - Escorregamento translacional raso atingindo a pista.

- Ocorrência Oc57: Km 99,500 – talude a jusante da pista;
 - Descrição: Escorregamento rotacional (provável) parcial na saia aterro sob a pista de rolamento.
 - Conseqüências: Leves danos à pista (trincas e abatimentos), comprometimento da estabilidade do acostamento. Houve necessidade de reconstrução parcial do aterro;
 - Referências: Auá, 1991 e Planilha CRT.



Figuras A3.36 e – A3.37 Oc 58: Km 100,000 - Escorregamento da saia do aterro, comprometendo a estabilidade do acostamento.

- Ocorrência Oc 58: Km 100,000 – talude a jusante da pista;
 - Descrição: Escorregamento na saia do aterro a jusante da mobilizando cerca de 2000m³ de material predominantemente terroso.
 - Conseqüências: Sérios danos à pista com interrupção parcial do tráfego naquele ponto. Houve reconstrução parcial do aterro, do acostamento, da pista de rolamento (diversas placas de concreto ficaram inutilizadas) e do sistema de drenagem;
 - Referências: Auá, 1991.



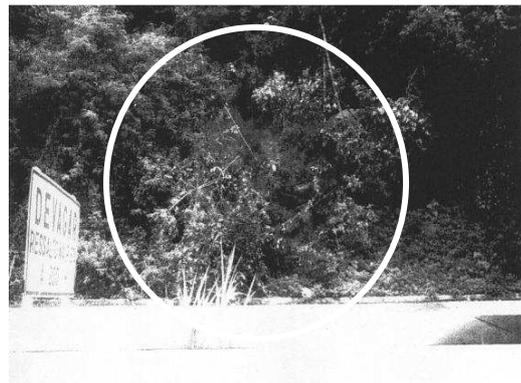
Figuras A3.38 e A3.39 – Oc 58: Km 100,000 - Escorregamento da saia do aterro que inutilizou parte da plataforma rodoviária com a destruição de inúmeras placas de concreto.

- Ocorrência Oc 59: Km 101,000 – talude a montante da pista;
 - Descrição: Escorregamento translacional de aproximadamente 100m³ de material predominantemente terroso e rochoso em talude a montante da pista.
 - Conseqüências: Parte da pista foi atingida pelo material escorregado, interrompendo parcialmente o tráfego no local ;
 - Referências: Relatório Tecnosolo RE.3497/91 de 25/01/1991.



Figura A3.40 – Oc 59: Km 101,000 - Escorregamento translacional raso atingindo o acostamento da pista.

- Ocorrência Oc 60: Km 102,000 – talude a montante da pista;
 - Descrição: Escorregamento translacional raso de aproximadamente 80m³ de material predominantemente terroso e vegetal em talude a montante da pista.
 - Conseqüências: Apenas o acostamento foi atingido pelo material escorregado.;
 - Referências: Relatório Tecnosolo RE.3497/91 de 25 de janeiro de 1991.



Figuras A3.41 e A3.42– Oc 60: Km 102,000 - Escorregamento translacional raso atingindo o acostamento da pista.

Evento: **Ev8**

- Data: 28/12/1997
- Categoria: Simples;
- Ocorrência Oc61: Km 104,000 – talude a montante da pista
 - Descrição: queda de árvore na pista
 - Conseqüências: interdição parcial da estrada por uma hora e quinze minutos.
 - Referências: listagem de ocorrência obtida no banco de dados da CRT, “Referente Ocorrência Nº17”, assinada por Álvaro Olivira Reis, supervisor de tráfego.

Evento: **Ev9**

- Data: 11/03/2000
- Categoria: Importante;
- Ocorrência Oc62: Km 90,00 – talude a montante da pista
 - Descrição: deslizamento de barreira.
 - Conseqüências: pedras atingiram um carro e parte da estrada.
 - Referências: listagem de ocorrência obtida no banco de dados da CRT, “Relatório de acidente – Queda de Barreira km 90 Pista 1 Faixa D OC.33”, assinada por Kaled e Dário, inspetores de tráfego e Paulo Cesar, Supervisor de Tráfego.

Evento: **Ev10**

- Data: 09/01/2001
- Categoria: Importante;
- Ocorrência Oc63: Km 93,080 – talude a montante da pista
 - Descrição: escorregamento translacional da capa superficial de solo.
 - Conseqüências: parte do material mobilizado atingiu o acostamento no pé do talude e parte da pista.
 - Referências: Relação CRT.

- Ocorrência Oc64: Km 90,00 – talude a montante da pista
 - Descrição: queda de barreira.
 - Conseqüências: soterramento de 1 veículo e interdição total da estrada. 1 morte
 - Referências: listagem de ocorrência obtida no banco de dados da CRT, “Relatório de Acidente – Queda de Barreira km 90 Pista 1, 2 e Faixa A Oc. 16”, assinada por Sidnei, Rogério de Marcos, inspetores de Tráfego e Álvaro Oliveira Reis, supervisor de tráfego.

Evento: Ev11

- Data: 25/01/2002 (data estimada)
- Categoria: Simples;
- Ocorrência Oc65: Km 86,000 – talude a montante da pista
 - Descrição: escorregamento translacional da capa superficial de solo ao longo de plano rochoso.
 - Conseqüências: parte do material mobilizado atingiu o acostamento no pé do talude e parte da pista.
 - Referências Relação CRT.

Evento: Ev12

- Data: 29/08/2002
- Categoria: Simples;
- Ocorrência Oc66: Km 90,800 – talude a montante da pista
 - Descrição: rolamento de pedra de grande porte.
 - Conseqüências: o material mobilizado atingiu uma pista de rolamento causando um acidente com um veículo sem maiores gravidades.
 - Referências: listagem de ocorrência obtida no banco de dados da CRT, “Relatório de Acidente – Deslizamento de pedra Km 90,8 pista uno faixa D. Oc25”, assinada por Manoel, inspetor de tráfego e Paulo Cesar, supervisor de tráfego.

Evento: **Ev13**

- Data: 18/12/2002;
- Categoria: Muito Importante;
- Ocorrências (Oc67 a Oc78): Oc67: Km 95,00; Oc68: Km 97,800; Oc69: Km 98,900; Oc70: Km 99,000; Oc71: Km 99,100; Oc72: Km 99,200; Oc73: Km 99,500; Oc74: Km 100,700; Oc75: Km 100,750; Oc76: Km 100,800; Oc77: Km 100,900; Oc78: Km 101,000.
 - Obs.: todas as ocorrências com a mesma tipologia e com origem no talude a montante da pista.
 - Descrição: escorregamento translacional da capa superficial de solo ao longo de plano rochoso.
 - Conseqüências: parte do material mobilizado atingiu o acostamento no pé do talude e parte da pista.
 - Referências (Oc49 a Oc60): Relação CRT.

Evento: **Ev14**

- Data: 21/01/2003
- Categoria: Simples;
- Ocorrência Oc79: Km 93,700 – talude a montante da pista
 - Descrição: escorregamento translacional da capa superficial de solo.
 - Conseqüências: parte do material mobilizado atingiu o acostamento no pé do talude e parte da pista.
 - Referências: Relação CRT.

Evento: **Ev15**

- Data: 29/01/2003
- Categoria: Importante. Obs.: existem registros de sete ocorrências entre os Km 70 e 126, porém de apenas uma ocorrência na área de estudo da tese (Km 86 aa Km 104);
- Ocorrência Oc80: Km 94,800 – talude a montante da pista
 - Descrição: escorregamento translacional da capa superficial de solo.
 - Conseqüências: parte do material mobilizado atingiu toda a pista.

- Referências: Relação CRT.

Evento: **Ev16**

- Data: 10/01/2004
- Categoria: Importante;
- Ocorrência Oc81: Km 90,500 – talude a montante da pista
 - Descrição: rolamento de pedra de grande porte.
 - Conseqüências: interdição total da pista por mais de 12h.
 - Referências: Relação CRT.

Evento: **Ev17**

- Data: 05 a 08/02/2005
- Categoria: Importante;
- Ocorrência Oc82: Km 87,000 – talude a montante e a jusante da pista
 - Descrição: escorregamento rotacional envolvendo a camada de aterro e também parte da camada de solo natural existente sob a pista. O movimento foi precedido pela ocorrência de trincas e abatimentos no asfalto no dia 07/02/2005 até que no dia 8/2/2008 houve a rotura global de toda a seção da estrada, levando a um afundamento da pista por uma extensão de 40 metros de e de 10 metros de profundidade e soterrando um caminhão e dois veículos de passeio. De acordo com o Laudo Técnico da COPPE-UFRJ referente ao Deslizamento de Aterro da BR 116/RJ Km 87 Teresópolis – Além Paraíba (Ehrlich, 2005), o material deslizado teria avançado “na forma de uma corrida de lama em direção ao Condomínio da Granja Comary” e “percorrido uma distância de 120 m de extensão”.

Em função da gravidade do acidente, a Agência Nacional de Transportes Terrestres - ANTT criou, através da Portaria nº 19 (02/02/2005), uma *Comissão de Apuração do Acidente do km 87 da rodovia Rio – Teresópolis – Além Paraíba* (BR-116/RJ, administrada pela concessionária CRT), com o objetivo de apurar os fatos ocorridos em 08/02/2005, bem como indicar as providências a serem adotadas. Esta Comissão consultou Relatórios de monitoração da rodovia, dados do Serviço de Meteorologia, Boletins do Corpo de Bombeiros, da Defesa Civil e da Polícia Rodoviária Federal, Relatórios técnicos de diversos consultores (inclusive o citado Laudo

Técnico da COPPE-UFRJ, elaborado por Ehrlich,2005), Sondagens geotécnicas, Levantamentos topográficos, informações de testemunhas e pessoas envolvidas no acidente e concluiu em seu Relatório Técnico que:

“1) O evento ocorreu devido ao excesso de subpressão de água na base do aterro. Este excesso ocorreu devido às chuvas excepcionais que ocorreram e à provável redução da capacidade da drenagem subterrânea do local. Esta conjugação de fatores proporcionou a queda da resistência do solo e os abatimentos iniciais que levaram o conjunto, por inteiro, ao colapso e

2) As ações implantadas pela Concessionária, desde o aparecimento dos primeiros sinais de movimento, foram as usuais neste tipo de ocorrência. Naquele “momento, apenas com observações visuais das trincas que surgiram não seria possível prever a extensão do acidente.”

As recomendações do documento produzido pela citada Comissão de Apuração foram para que:

“1) Seja analisada a implantação de rede de postos pluviométricos na região da rodovia e a criação de sistema de alerta meteorológico associado a ações emergenciais quando a intensidade de chuva ultrapassar níveis pré-determinados;

2) Sejam executados, pela Concessionária, estudos técnicos nos aterros contíguos ao local do acidente para se verificar a possibilidade de repetição dos problemas nesses locais; e

3) A Concessionária deverá apresentar a solução definitiva a ser adotada para a reconstrução do segmento atingido, bem como efetuar sua implantação, com a menor brevidade possível, visando restabelecer a circulação normal de veículos naquele local.”

- Conseqüências: Interrupção total da pista por vários dias, um motorista do caminhão morreu no acidente, casas de alto padrão foram soterradas a jusante da estrada (Condomínio Comari); um desvio alternativo teve que ser construído e obras de estabilização.
- Referências: Ehrlich (2005) e observações pessoais do autor decorrentes da visita técnica ao local do acidente em fevereiro de 2005.

A3.43



A3.45



A3.44



Figuras A3.43 a A3.45 - Imagens do escorregamento ocorrido em 08/02/2005 obtidas dois dias após sua deflagração, quando o tráfego ainda estava totalmente impedido e o fluxo de veículos teve que ser desviado para dentro da Cidade de Teresópolis (RJ). Cerca de duas semanas após a ocorrência, um desvio provisório foi construído a montante da crista do escorregamento, restabelecendo, em caráter precário, o tráfego por aquele trecho da Rodovia. Na Figura A3.43 é possível se observar a extensão e a profundidade do movimento na região da rotura. A Figura A3.44 mostra as casas atingidas e parte do caminhão que caiu na depressão originada pelo escorregamento minutos depois de sua ocorrência. A Figura A3.45 apresenta uma vista do percurso (seta azul tracejada) de aproximadamente 120m efetuado pelo material escorregado, atingindo terrenos, benfeitorias e casas do Condomínio Comary.

Evento: **Ev18**

- Data: 28/02/2006
- Horário: 20h30min;
- Categoria: Simples;
- Ocorrência Oc83: Km 90,000 – Talude a montante da pista
 - Descrição: Escorregamento translacional de capa de solo, lascas rochosas e vegetação sobre plano rochoso
 - Conseqüências: parte do material mobilizado atingiu o acostamento no pé do talude e parte da pista.
 - Referências: Relatório da SALCONSULT Engenharia Ltda de 02/03/2006- Ref: S 2691

Evento: **Ev19**

- Data: 19/03/2006
- Categoria: Simples;
- Horário: 08h40min;
- Ocorrência Oc84: Km 89,900 – Talude a montante da pista
 - Descrição: Deslizamento seguido de queda de uma lasca rochosa por sobre a superfície do maciço rochoso aflorante, sem rolamento, fazendo com que a lasca permanecesse em pé, colada ao pé do corte rochoso, não interrompendo a faixa de tráfego direção Rio de Janeiro.
 - Conseqüências:
 - Referências: Relatório da SALCONSULT Engenharia Ltda de 20/03/2006 - Ref: S 2695.

Evento: **Ev20**

- Data: 10/11/2006
- Categoria: Simples;
- Ocorrência Oc85: Km 95,000 – Talude a montante da pista
 - Descrição: Escorregamento translacional de solo e vegetação.

- Conseqüências: Atingimento do acostamento e interrupção parcial do tráfego.
- Referências: Planilha CRT "Módulo de Operações" Lista de Ocorrências / Ocorrências da Pesquisa de 07/04/2008 + comunicação oral Engo. Sergio Magalhães da CRT.

Evento: **Ev21**

- Data: 30/11 a 01/12/2006
- Horário: Oc87 entre 18h e 20h do dia 30/11/2006; as demais ocorrências, aproximadamente às 03h do dia 01/12/2006.
- Categoria: Muito Importante (6 ocorrências significativas na área da tese e outras 3 que atingiram a rodovia porém foram da área de interesse da Tese);
- Ocorrência Oc86: Km 89,000 – Talude a montante e a jusante da pista;
 - Descrição: Ruptura de Capa Vegetal e de aterro lateral;
 - Conseqüências: Parte da pista foi atingida, bloqueando parcialmente o tráfego; ocorrência de trincas na pista e parte do aterro teve que ser reconstituído.
- Ocorrência Oc87: Km 89,950 – Talude a montante da pista;
 - Descrição: Corrida de Lama (Hidrofluxão de solo);
 - Conseqüências: Parte da pista foi atingida, bloqueando parcialmente o tráfego.
- Ocorrência Oc88: Km 93,300 – Talude a montante da pista;
 - Descrição: Ruptura translacional de solo e blocos de rocha - plano de ruptura em solo residual maduro;
 - Conseqüências: Parte da pista foi atingida, bloqueando parcialmente o tráfego.

- Ocorrência Oc89: km 93,700 – Talude a montante da pista;
 - Descrição: Rolamento de blocos de rocha;
 - Conseqüências: Parte da pista foi atingida, bloqueando parcialmente o tráfego.

- Ocorrência Oc90: Km 95,900 – Talude a montante da pista;
 - Descrição: Escorregamento translacional capa de solo sobre plano rochoso;
 - Conseqüências: Parte da pista foi atingida, bloqueando parcialmente o tráfego.

- Ocorrência Oc91: Km 98,100 – Talude a montante da pista;
 - Descrição: Escorregamento complexo, deflagrado por ruptura translacional, provavelmente se transformando em avalanche de detritos. Trata-se da primeira grande ocorrência registrada no evento Ev17.
 - Conseqüências: Toda a pista foi atingida, bloqueando integralmente o tráfego.

- Referências relativas às ocorrências Oc86 a Oc91: Relação CRT.

Evento: **Ev22**

- Data: 24/03/2008
- Categoria: Importante;
- Ocorrência Oc92: Km 89,90 (“Soberbo”) – Talude a montante da pista
 - Horário: 17h55min
 - Descrição: Queda/rolamento de 02 blocos rochosos com cerca de 2 ton cada.
 - Conseqüências: O material mobilizado atingiu a pista de rolamento e bloqueou parcialmente o tráfego.

- Ocorrência Oc 93: Km 92,600 (“Santa”) – Talude a montante da pista
 - Horário: 18h
 - Descrição: Escorregamento de solo, rocha e vegetação, mobilizando um volume total de aproximadamente 7m³.
 - Conseqüências: O material mobilizado atingiu a pista de rolamento e bloqueou parcialmente o tráfego.
- Referências relativas às ocorrências Oc92 e Oc93: Planilha CRT "Módulo de Operações" Lista de Ocorrências / Ocorrências da Pesquisa de 07/04/2008 + comunicação oral Engo. Sérgio Magalhães da CRT.

Evento: **Ev23**

- Data: 16/05/2008
- Categoria: Simples;
- Horário: 11h16min;
- Ocorrência Oc94: Km 95,500 – Talude a montante da pista
 - Descrição: rolamento de pedras de pequeno porte.
 - Conseqüências: Interdição parcial da pista.
 - Referências: listagem de ocorrência obtida no banco de dados da CRT, “Módulo de Operações – Lista de Ocorrências/Ocorrências da Pesquisa”

Evento: **Ev24**

- Data: 21 e 22/01/2009
- Categoria: Muito Importante;
- Ocorrência Oc95: Km 91,050 (Km “91” na “Relação de Queda de Barreira” enviada pela CRT, ao autor, por e-mail) – Talude a montante da pista
 - Horário: 19h26min (21/01/2009)
 - Descrição: Escorregamento planar de material inconsolidado (vegetação, colúvio sobre solo residual sobre rocha).

- Conseqüências: O material atingiu a pista de rolamento e bloqueou parcialmente o tráfego. Dentre as 6 ocorrências verificadas no Evento Ev 24, esta foi considerada a maior delas, mobilizando cerca de 200m³.



Figuras A3.46 e A3.47 – Vista geral e detalhe de deslizamento translacional de solo superficial assente diretamente sobre maciço rochoso pouco alterado, ocorrido no Km 91,050, no dia 21 de janeiro de 2009, às 19h26min (Oc 95). As fotografias foram obtidas no dia 25 de janeiro de 2009.

- Ocorrências Oc 96 : Km 90,400 e Oc 97 : Km 90,480– Talude a montante da pista
 - Descrição: Escorregamentos de pequeno porte envolvendo de solo, rocha e vegetação, mobilizando volumes em torno de 5m³.
 - Conseqüências: Os materiais mobilizados atingiram o acostamento da pista de rolamento.



Figuras A3.48 e A3.49 – Vistas de deslizamentos translacionais de pequeno porte, envolvendo capa de solo superficial (provável colúvio sobre solo residual) assente diretamente sobre maciço rochoso pouco alterado. Os movimentos ocorreram nos Km 90,400 e 90,480 em algum momento entre os dias 21 e 22 de janeiro de 2009. As fotografias foram obtidas no dia 25 de janeiro de 2009.

- Ocorrência Oc 98 : Km 95,650 – Talude a montante da pista
 - Descrição: Escorregamento de solo, rocha e vegetação, mobilizando um volume total de aproximadamente 7m³.
 - Conseqüências: O material mobilizado não atingiu a pista.



Figura A3.50 – Vista de deslizamento translacional, envolvendo capa de solo superficial (provável colúvio sobre solo residual) assente diretamente sobre maciço rochoso pouco alterado. O movimento ocorreu no Km 95,650 em algum momento entre os dias 21 e 22 de janeiro de 2009. A fotografia foi obtida no dia 25 de janeiro de 2009.

- Ocorrências Oc 99 e Oc 100 : Km 93,800 e 96,300 – Talude a montante da pista
 - Horário: 07h22min (22/01/2009)
 - Descrição: Escorregamentos translacionais rasos, mobilizando solo, pedregulhos, pequenos blocos e vegetação, com origem em talude imediatamente a montante da pista.
 - Conseqüências: O material mobilizado atingiu o acostamento da pista de rolamento.



Figuras A3.51 E A3.52 – Vista de deslizamento translacional (Oc 99), ocorrido em 22/1/2009 às 07h22min envolvendo capa de solo superficial, nas imediações do Km 93,800. O material de descida interrompendo parcialmente o tráfego. A fotografia (cedida pela CRT) foi obtida no dia 22 de janeiro de 2009, por volta das 10h30min da manhã, quando eram iniciados os trabalhos de remoção do material.

- Referências relativas às ocorrências Oc95 e Oc99: E-mail encaminhado ao autor pela CRT em 19/02/2009. Dados relativos às ocorrências Oc 96, Oc 97, Oc 98 e Oc 100 foram obtidos pelo próprio autor em trabalho de campo no dia 25/01/2009.

Evento: **Ev25**

- Data: 15/11/2009
 - Categoria: Muito Importante;
 - Horário: 22h00min;
 - Ocorrência Oc101: Km 84,00 – Talude a montante da pista
 - Descrição: escorregamento planar
 - Conseqüências: Interrupção parcial da pista.
 - Obs.: tal ocorrência está fora da área da tese, todavia é muito próxima.

 - Ocorrência Oc102: Km 90,00 – Talude a montante da pista
 - Descrição: escorregamento planar.
 - Conseqüências: Interrupção total da pista, destruição de veículo e 3 vítimas fatais.
- Referências relativas às ocorrências Oc101 e Oc102: listagem de ocorrência obtida no banco de dados da CRT, “Módulo de Operações – Lista de Ocorrências / Ocorrências da Pesquisa”.



Figura A3.53 - Fotografia da Oc 102 no Km 90, um escorregamento planar que interrompeu toda a pista, podemos observar também outro deslizamento mais a montante que não atingiu a pista.



Figura A3.54 – Fotografia da Oc 102 Km 90, imagens feitas pela TV Globo. Ocorrência que faz parte do Ev 25, no total foram 3 vítimas fatais e a destruição de um veículo, observe o detalhe.



Figura A3.55 – Vista do escorregamento em detalhe indicado na Figura A3.53.

Evento: **Ev26**

- Data: 04/12/2009
- Categoria: Importante;
- Ocorrência Oc103: Km 94,15 – Talude a montante da pista
 - Descrição: Escorregamento planar.
 - Conseqüências: interrupção total da pista, veículos envolvidos.
 - Referências: : listagem de ocorrência obtida no banco de dados da CRT, “Módulo de Operações – Lista de Ocorrências / Ocorrências da Pesquisa”.

Evento: **Ev27**

- Data: 31/12/2009
- Categoria: Simples;
- Ocorrência Oc104: Km 92,80 – Talude a montante da pista
 - Descrição: Escorregamento planar de material terroso e rochoso.
 - Conseqüências: interrupção parcial do tráfego.
 - Referências: listagem de ocorrência obtida no banco de dados da CRT, “Módulo de Operações – Lista de Ocorrências / Ocorrências da Pesquisa”.



Figura A3.56 – Foto da Oc. 104, o material escorregado atingiu o acostamento e uma das faixas de rolamento.

Evento: **Ev28**

- Data: 20/01/2010
- Categoria: Importante;
- Ocorrência Oc105 (múltipla): Km 91,00 e Km 100,10 – Talude a montante da pista
 - Descrição: Rolamento de rochas e blocos de pequeno e médio porte.
 - Conseqüências: interdição parcial da pista
 - Referências: listagem de ocorrência obtida no banco de dados da CRT, “Módulo de Operações – Lista de Ocorrências / Ocorrências da Pesquisa”.

Evento: **Ev29**

- Data: 26/01/2010
- Categoria: Simples;
- Ocorrência Oc106: Km 92,80 – Talude a montante da pista
 - Descrição: deslizamento de barranco.
 - Conseqüências: o material mobilizado chegou a pista 01.
 - Referências: listagem de ocorrência obtida no banco de dados da CRT, “Módulo de Operações – Lista de Ocorrências / Ocorrências da Pesquisa”.

Evento: **Ev30**

- Data: 17/02/2010
- Categoria: Simples;
- Ocorrência Oc107: Km 90,0 – Talude a montante da pista
 - Descrição: queda de bloco.
 - Conseqüências: Atingimento do acostamento
 - Referências: Observação direta do autor durante visita de campo.

Evento: **Ev31**

- Data: 08/04/2009
- Categoria: Simples;
- Ocorrência Oc108: Km 97,00 – Talude a montante da pista

- Descrição: Queda de árvore
- Conseqüências: obstrução parcial do acostamento.
- Referências: listagem de ocorrência obtida no banco de dados da CRT, “Módulo de Operações – Lista de Ocorrências / Ocorrências da Pesquisa”.

Evento: **Ev32**

- Data: 05/06/2010
- Categoria: Simples;
- Ocorrências Oc109 à Oc116: (Oc 109: Km 91,00; Oc 110: Km 93,00; Oc 111: Km 94,00; Oc112: Km 97; Oc 113: Km 97,00; Oc 114: Km 97,50; Oc 115: Km98; Oc 116: Km 102,10)
 - Descrição: Queda de árvore
 - Conseqüências: galhos no acostamento
 - Referências: listagem de ocorrência obtida no banco de dados da CRT, “Módulo de Operações – Lista de Ocorrências / Ocorrências da Pesquisa”.

Evento: **Ev33**

- Data: 22/07/2010
- Categoria: Importante;
- Ocorrência Oc117: Km 87,00 – Talude a montante da pista
 - Descrição: rolamento de bloco
 - Conseqüências: blocos no acostamento.
 - Referências: listagem de ocorrência obtida no banco de dados da CRT, “Módulo de Operações – Lista de Ocorrências / Ocorrências da Pesquisa”.
- Ocorrência Oc118: Km 90,02 – Talude a montante da pista
 - Descrição: rolamento de bloco de médio porte
 - Conseqüências: blocos no acostamento
 - Referências: listagem de ocorrência obtida no banco de dados da CRT, “Módulo de Operações – Lista de Ocorrências / Ocorrências da Pesquisa”.

Evento: **Ev34**

- Data: 03/08/2010
- Categoria: Simples;
- Ocorrência Oc119: Km 95,00 – Talude a montante da pista
 - Descrição: Queda de árvore
 - Conseqüências:
 - Referências: listagem de ocorrência obtida no banco de dados da CRT, “Módulo de Operações – Lista de Ocorrências / Ocorrências da Pesquisa”.

Evento: **Ev35**

- Data: 07/11/2010
- Categoria: Simples;
- Ocorrência Oc120: Km 92,20 – Talude a montante da pista
 - Descrição: Rolamento e queda bloco rochoso (de pequeno porte) atingindo o acostamento e se fragmentando.
 - Conseqüências: não houve neccessidade de interdição do tráfego.
 - Referências: “Boletim de Ocorrência – 07/11/2010” da CRT.



Figura A3.57 e A3.58 – Fotos da Oc. 120 – Pedras que rolaram da vertente e acabaram no acostamento sem maiores conseqüências.

Evento: **Ev36**

- Data: 10/11/2010
- Categoria: Simples;
- Ocorrência Oc121: Km 93,00 – Talude a montante da pista
 - Descrição: Rolamento de pedra de pequeno porte (aprox. 2kg)
 - Conseqüências: não houve
 - Referências: “Boletim de Ocorrência – 07/11/2010” da CRT.

Evento: **Ev37**

- Data: 30/11/2010
- Categoria: Simples;
- Ocorrência Oc122: Km 95,40
 - Descrição: queda de árvore
 - Conseqüências: não houve
 - Referências: “Boletim de Ocorrência – 30/11/2010” da CRT.



Figura A3.59 – Oc. 122 - Árvore caída na lateral da pista.

Evento: **Ev38**

- Data: 16/12/2010
- Categoria: Simples;
- Ocorrência Oc123: Km 90,00 – Talude a montante da pista
 - Descrição: excesso de águas pluviais vertendo a partir da crista do talude carreando material terroso, atravessando a pista impedindo o trânsito de veículos.
 - Conseqüências: houve interdição parcial da pista.

- Referências: “Boletim de Ocorrência – 16/12/2010” da CRT.

Evento: **Ev39**

- Data: 01/01/2011
- Categoria: Simples;
- Ocorrência Oc124: Km 93,50
 - Descrição: queda de solo, rocha e vegetação
 - Conseqüências: interdição parcial da pista
 - Referências: “Boletim de Ocorrência – 01/01/2011” da CRT.



Figura A3.60 – Oc 124 – Galhos e material escorregado interditando toda a pista.

Evento: **Ev40**

- Data: 05/02/2011
- Categoria: Simples;
- Ocorrência Oc125: Km 90,00
 - Descrição: rolamento de pedra de médio porte
 - Conseqüências: não houve, a pedra não chegou à pista.
 - Referências: listagem de ocorrência obtida no banco de dados da CRT, “Boletim de Ocorrência – 05/02/2011” da CRT.”

Tabela A3.4 – Relação de ocorrências de deslizamentos no trecho da tese.

<i>Ocorrências de Deslizamentos</i>							
<i>Eventos</i>	<i>Ocorrência</i>	<i>Data</i>	<i>Hora local</i>	<i>Hora (UTC)</i>	<i>Classificação</i>	<i>Categoria</i>	<i>Localização (km)</i>
1	1	01/07/1980	ND	ND	Montante	Importante	92,30
2	2	05/03/1981	17:30 as 18hs	17:30 as 18hs	Montante	Importante	91,50
3	3	26/11/1981	ND	ND	Montante	Simples	93,08
4	4	02/12/1981	após 16:30	após 16:30	Jusante	Muito Importante	86,50
4	5	02/12/1981	após 16:30	após 16:30	Jusante	Muito Importante	88,00
4	6	02/12/1981	após 16:30	após 16:30	Montante	Muito Importante	88,50
4	7	02/12/1981	após 16:30	após 16:30	Jusante	Muito Importante	88,80
4	8	02/12/1981	após 16:30	após 16:30	Montante	Muito Importante	89,5 a 91
4	9	02/12/1981	após 16:30	após 16:30	Montante/Jusante	Muito Importante	91,00
4	10	02/12/1981	após 16:30	após 16:30	Montante	Muito Importante	91 a 92,5
Continua na próxima página.							

<u>Eventos</u>	<u>Ocorrencia</u>	<u>Data</u>	<u>Hora local</u>	<u>Hora (UTC)</u>	<u>Classificação</u>	<u>Categoria</u>	<u>Localização (km)</u>
4	11	02/12/1981	após 16:30	após 16:30	Jusante	Muito Importante	91,30
4	12	02/12/1981	após 16:30	após 16:30	Montante	Muito Importante	92,50
4	13	02/12/1981	após 16:30	após 16:30	Jusante	Muito Importante	92,80
4	14	02/12/1981	após 16:30	após 16:30	Montante	Muito Importante	92,80
4	15	02/12/1981	após 16:30	após 16:30	Montante	Muito Importante	93,00
4	16	02/12/1981	após 16:30	após 16:30	Montante	Muito Importante	93,08
4	17	02/12/1981	após 16:30	após 16:30	Jusante	Muito Importante	93,40
4	18	02/12/1981	após 16:30	após 16:30	Montante/Jusante	Muito Importante	93,6 a 94
4	19	02/12/1981	após 16:30	após 16:30	Jusante	Muito Importante	94,00
4	20	02/12/1981	após 16:30	após 16:30	Jusante	Muito Importante	94,30
4	21	02/12/1981	após 16:30	após 16:30	Montante/Jusante	Muito Importante	94 a 94,130
Continua na próxima página.							

<u>Eventos</u>	<u>Ocorrencia</u>	<u>Data</u>	<u>Hora local</u>	<u>Hora (UTC)</u>	<u>Classificação</u>	<u>Categoria</u>	<u>Localização (km)</u>
4	22	02/12/1981	após 16:30	após 16:30	Jusante	Muito Importante	94,30
4	23	02/12/1981	após 16:30	após 16:30	Montante	Muito Importante	94,34
4	24	02/12/1981	após 16:30	após 16:30	Jusante	Muito Importante	94,34
4	25	02/12/1981	após 16:30	após 16:30	Montante	Muito Importante	94,39
4	26	02/12/1981	após 16:30	após 16:30	Montante	Muito Importante	94,45
4	27	02/12/1981	após 16:30	após 16:30	Jusante	Muito Importante	94,50
4	28	02/12/1981	após 16:30	após 16:30	Montante	Muito Importante	94,65
4	29	02/12/1981	após 16:30	após 16:30	Montante	Muito Importante	96,00
4	30	02/12/1981	após 16:30	após 16:30	Montante	Muito Importante	98,80
4	31	02/12/1981	após 16:30	após 16:30	Montante	Muito Importante	98,80
5	32	02/02/1988 a 03/02/1988	precipitação continua da noite até a amanhã seguinte	-	Jusante	Muito Importante	95,60

Continua na próxima página.

<u>Eventos</u>	<u>Ocorrencia</u>	<u>Data</u>	<u>Hora local</u>	<u>Hora (UTC)</u>	<u>Classificação</u>	<u>Categoria</u>	<u>Localização (km)</u>
5	33	02/02/1988 a 03/02/1988	precipitação continua desde a noite até a amanhã seguinte	-	Jusante	Muito Importante	96,60
5	34	02/02/1988 a 03/02/1988	precipitação continua desde a noite até a amanhã seguinte	-	Montante/Jusante	Muito Importante	92,5; 93,8 e 94,3
6	35	08/12/1989	ND	ND	Jusante	Simple	95,60
7	36	17 e 18/01/1991	final do dia 17	final do dia 17	Jusante	Muito Importante	86,00
7	37	17 e 18/01/1991	final do dia 17	final do dia 17	Jusante	Muito Importante	87,90
7	38	17 e 18/01/1991	final do dia 17	final do dia 17	Jusante	Muito Importante	89,70
7	39	17 e 18/01/1991	final do dia 17	final do dia 17	Montante	Muito Importante	90,00
7	40	17 e 18/01/1991	final do dia 17	final do dia 17	Jusante	Muito Importante	91,80
7	41	17 e 18/01/1991	final do dia 17	final do dia 17	Montante	Muito Importante	91,90
7	42	17 e 18/01/1991	final do dia 17	final do dia 17	Montante	Muito Importante	92,50
7	43	17 e 18/01/1991	final do dia 17	final do dia 17	Montante	Muito Importante	93,00
Continua na próxima página.							

<u>Eventos</u>	<u>Ocorrencia</u>	<u>Data</u>	<u>Hora local</u>	<u>Hora (UTC)</u>	<u>Classificação</u>	<u>Categoria</u>	<u>Localização (km)</u>
7	44	17 e 18/01/1991	final do dia 17	final do dia 17	Montante	Muito Importante	94,60
7	45	17 e 18/01/1991	final do dia 17	final do dia 17	Jusante	Muito Importante	96,05
7	46	17 e 18/01/1991	final do dia 17	final do dia 17	Montante	Muito Importante	96,2 a 96,21
7	47	17 e 18/01/1991	final do dia 17	final do dia 17	Jusante	Muito Importante	96,05
7	48	17 e 18/01/1991	final do dia 17	final do dia 17	Jusante	Muito Importante	96,22
7	49	17 e 18/01/1991	final do dia 17	final do dia 17	Jusante	Muito Importante	96,50
7	50	17 e 18/01/1991	final do dia 17	final do dia 17	Montante/Jusante	Muito Importante	98,00
7	51	18/01/1991	3:00	05:00	Jusante	Muito Importante	98,70
7	52	17 e 18/01/1991	final do dia 17	final do dia 17	Montante	Muito Importante	98,90
7	53	17 e 18/01/1991	final do dia 17	final do dia 17	Montante	Muito Importante	99,00
7	54	17 e 18/01/1991	final do dia 17	final do dia 17	Montante	Muito Importante	99,10
7	55	17 e 18/01/1991	final do dia 17	final do dia 17	Montante	Muito Importante	99,20

Continua na próxima página.

<u>Eventos</u>	<u>Ocorrência</u>	<u>Data</u>	<u>Hora local</u>	<u>Hora (UTC)</u>	<u>Classificação</u>	<u>Categoria</u>	<u>Localização (km)</u>
7	56	17 e 18/01/1991	final do dia 17	final do dia 17	Montante	Muito Importante	99,30
7	57	17 e 18/01/1991	final do dia 17	final do dia 17	Jusante	Muito Importante	99,50
7	58	17 e 18/01/1991	final do dia 17	final do dia 17	Jusante	Muito Importante	100,00
7	59	17 e 18/01/1991	final do dia 17	final do dia 17	Montante	Muito Importante	101,00
7	60	17 e 18/01/1991	final do dia 17	final do dia 17	Montante	Muito Importante	102,00
8	61	28/12/1997	14:50	-	Montante	Simples	104,00
9	62	11/03/2000	22:55	-	Montante	Importante	90,00
10	63	09/01/2001	ND	ND	Montante	Importante	93,08
10	64	09/01/2001	15:10	-	Montante	Importante	90,00
11	65	25/01/2002 (estimado)	ND	ND	Montante	Simples	86,00
12	66	29/08/2002	18:25	-	Montante	Simples	90,80
13	67	18/12/2002	ND	ND	Montante	Muito Importante	95,00
13	68	18/12/2002	ND	ND	Montante	Muito Importante	97,80
13	69	18/12/2002	ND	ND	Montante	Muito Importante	98,90

Continua na próxima página.

<u>Eventos</u>	<u>Ocorrencia</u>	<u>Data</u>	<u>Hora local</u>	<u>Hora (UTC)</u>	<u>Classificação</u>	<u>Categoria</u>	<u>Localização (km)</u>
13	70	18/12/2002	ND	ND	Montante	Muito Importante	99,00
13	71	18/12/2002	ND	ND	Montante	Muito Importante	99,10
13	72	18/12/2002	ND	ND	Montante	Muito Importante	99,20
13	73	18/12/2002	ND	ND	Montante	Muito Importante	99,50
13	74	18/12/2002	ND	ND	Montante	Muito Importante	100,70
13	75	18/12/2002	ND	ND	Montante	Muito Importante	100,75
13	76	18/12/2002	ND	ND	Montante	Muito Importante	100,80
13	77	18/12/2002	ND	ND	Montante	Muito Importante	100,90
13	78	18/12/2002	ND	ND	Montante	Muito Importante	101,00
14	79	21/01/2003	ND	ND	Montante	Simples	93,70
15	80	29/01/2003	ND	ND	Montante	Importante	94,80
16	81	10/01/2004	16:45	-	Montante	Importante	90,50
17	82	7/02/2005 a 08/02/2005	no dia 7	no dia 7	Montante/Jusante	Importante	87,00
Continua na próxima página.							

<u>Eventos</u>	<u>Ocorrencia</u>	<u>Data</u>	<u>Hora local</u>	<u>Hora (UTC)</u>	<u>Classificação</u>	<u>Categoria</u>	<u>Localização (km)</u>
18	83	28/02/2006	20:30	-	Montante	Simples	90,00
19	84	19/03/2006	8:40	-	Montante	Simples	89,90
20	85	10/11/2006	ND	ND	Montante	Simples	95,00
21	86	01/12/2006	3:00	05:00	Montante/Jusante	Muito Importante	89,00
21	87	30/11/2006	18 a 20	20 A 22	Montante	Muito Importante	89,95
21	88	01/12/2006	3:00	05:00	Montante	Muito Importante	93,30
21	89	01/12/2006	3:00	-	Montante	Muito Importante	93,70
21	90	01/12/2006	3:00	05:00	Montante	Muito Importante	95,90
21	91	01/12/2006	3:00	05:00	Montante	Muito Importante	98,10
22	92	24/03/2008	17:55	20:55	Montante	Importante	89,90
22	93	24/03/2008	18:00	21:00	Montante	Importante	92,60
23	94	16/05/2008	11:16		Montante	Simples	95,50
24	95	21/01/2009	19:26	21:26	Montante	M. Importante	91,05
24	96	21/01/2009 e 22/01/2009	ND	ND	Montante	M. Importante	90,40
24	97	21/01/2009 e 22/01/2009	ND	ND	Montante	M. Importante	90,48

Continua na próxima página.

<u>Eventos</u>	<u>Ocorrencia</u>	<u>Data</u>	<u>Hora local</u>	<u>Hora (UTC)</u>	<u>Classificação</u>	<u>Categoria</u>	<u>Localização (km)</u>
24	98	21/01/2009 e 22/01/2009	ND	ND	Montante	M. Importante	95,65
24	99	22/01/2009	7:22	09:22	Montante	M. Importante	93,80
24	100	22/01/2009	7:22	09:22	Montante	M. Importante	96,30
25	101	15/11/2009	22:00	16/11/2010 00:00	montante	Muito Importante	84,00
25	102	15/11/2009	22:00	16/11/2010 00:00	montante	M. Importante	90,00
26	103	04/12/2009	19:00	21:00	Montante	Importante	94,15
27	104	31/12/2009	18:00	20:00	Montante	Simple	92,80
28	105	20/01/2010	23:06	-	Montante	Importante	100,10
29	106	26/01/2010	11:54	-	Montante	Simple	92,80
30	107	17/02/2010	ND	-	Montante	Simple	90,90
31	108	08/04/2010	0:02	-	Montante	Simple	97,00
32	109	05/06/2010	11:50	-	Montante	Simple	91,00
32	110	05/06/2010	10:15	-	Montante	Simple	93,00
32	111	05/06/2010	10:39	-	Montante	Simple	94,00
32	112	05/06/2010	10:07	-	Montante	Simple	97,00
32	113	05/06/2010	12:30	-	Montante	Simple	97,00
32	114	05/06/2010	9:35	-	Montante	Simple	97,50
Continua na próxima página.							

<u>Eventos</u>	<u>Ocorrencia</u>	<u>Data</u>	<u>Hora local</u>	<u>Hora (UTC)</u>	<u>Classificação</u>	<u>Categoria</u>	<u>Localização (km)</u>
32	115	05/06/2010	9:50	-	Montante	Simples	98,00
32	116	05/06/2010	9:43	-	Montante	Simples	102,10
33	117	22/07/2010	5:54	-	Montante	Importante	87,00
33	118	22/07/2010	6:55	-	Montante	Importante	90,20
34	119	03/08/2010	9:47	-	Montante	Simples	95,00
35	120	07/11/2010	13:30	-	Montante	Simples	92,2
36	121	10/11/2010	22:37	-	Montante	Simples	93,00
37	122	30/11/2010	2:50	-	Montante	Simples	95,40
38	123	16/12/2010	0:02	-	Montante	Simples	90,00
39	124	01/01/2011	22:50	-	Montante	simples	93,50
40	125	05/02/2011	2:30	-	Montante	Simples	90