Daniela Girio Marchiori Faria

Mapeamento de perigo de escorregamentos em áreas urbanas precárias brasileiras com a incorporação do Processo de Análise Hierárquica (AHP)

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Ciências, Programa de Pós-graduação em Geotecnia.

Orientador: Prof. Dr. Oswaldo Augusto Filho

Volume 1

Versão corrigida

SÃO CARLOS

2011

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

F224m
2v.

Faria, Daniela Girio Marchiori
Mapeamento de perigo de escorregamentos em áreas urbanas precárias brasileiras com a incorporação do processo de análise de análise hierárquica (AHP) / Daniela Girio Marchiori Faria; orientador Oswaldo Augusto Filho. - São Carlos, 2011.

Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Geotecnia -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

1. Mapeamento de perigo. 2. Escorregamento. 3. Método (AHP). I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **DANIELA GIRIO MARCHIORI FARIA**

Título da Tese: "Mapeamento de perigo de escorregamentos em áreas urbanas precárias brasileiras com a incorporação do processo de análise hierárquica (AHP)".

Data da defesa: 21/10/2011:

Comissão Julgadora:	**Resultado:**
Prof. Dr. **Oswaldo Augusto Filho (Orientador)** (Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)	APROVADA
Profª. Drª. **Bianca Carvalho Vieira** (Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas/FFLCH)	APROVADA Bianca Vieira
Dr. **Jair Santoro** (Instituto Geológico/IG)	APROVADA
Dr. **Eduardo Soares de Macedo** (Instituto de Pesquisas Tecnológicas/IPT)	Aprovada
Prof. Dr. **Leandro Eugenio Silva Cerri** (Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"/UNESP/campus de Rio Claro)	APROVADA

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia:
Prof. Titular **Osni José Pejon**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:
Prof. Associado **Paulo Cesar Lima Segantine**

AGRADECIMENTOS

A Deus pela sua misericórdia, amor e pela benção de ter concluído mais uma etapa da minha vida.

Ao orientador, Prof. Dr. Oswaldo Augusto Filho, pelas suas sugestões e pela atenção dedicada.

Aos queridos amigos de trabalho do Instituto Geológico – SMA, pela amizade, contribuições e incentivo.

Aos amigos do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), com os quais sempre encontro nos momentos difíceis, principalmente nos atendimentos emergenciais do PPDC.

À Maristela, Álvaro e Neiva, do Departamento de Geotecnia, pela paciência e gentileza que sempre me dispensaram.

Aos meus pais, irmãos, marido e filho, pelo constante estímulo, paciência e ajuda na superação dos obstáculos.

Ao Instituto Geológico – SMA pelo apoio financeiro.

E finalmente àqueles que de alguma forma contribuíram direta e indiretamente para a realização deste trabalho.

RESUMO

FARIA, D. G. M. _ Mapeamento de perigo de escorregamentos em áreas urbanas precárias brasileiras com a incorporação do Processo de Análise Hierárquica (AHP). São Carlos, 2011.194p. e Apêndices. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

As áreas urbanas precárias, também denominadas de favelas são as mais frequentemente afetadas por escorregamentos e também as mais vulneráveis, gerando danos sociais de maior monta. Este cenário resultou na demanda e no desenvolvimento de uma série de ações do poder público em diferentes municípios e estados brasileiros, culminando com o estabelecimento de um programa federal, vinculado ao Ministério das Cidades, voltado à mitigação destes riscos com o desenvolvimento de mapeamentos e a implantação de planos preventivos de defesa civil, de obras de estabilização e de reurbanização nestas áreas de risco.

No estado de São Paulo, o mapeamento de escorregamento em encostas urbanas precárias vem sendo realizado desde 1990, através das iniciativas de órgãos públicos e com a participação de diversas instituições. O método de mapeamento atualmente mais utilizado emprega como técnicas principais a realização de vistorias sistemáticas de campo, investigações de superfície, utilização de fichas descritivas para armazenar as informações coletadas e a delimitação de setores de risco em imagens aéreas recentes e de grande escala e de detalhe. Este método é bastante aplicado e muitas vezes consegue subsidiar satisfatoriamente as ações de mitigação dos riscos de escorregamentos, indicando os locais prioritários para receberem estas ações. Por outro lado, o método também é questionado pelo meio técnico devido sua abordagem qualitativa, pela pouca utilização dos métodos clássicos de mapeamento geotécnico e de análise de estabilidade de taludes e pelo grau elevado de subjetividade que pode agregar, podendo produzir resultados de baixa confiabilidade.

A contribuição da presente pesquisa é o aprimoramento do método de mapeamento de perigo e de risco de escorregamentos em áreas urbanas, diminuindo a subjetividade na comparação e na hierarquização dos setores, sem modificar sua abordagem fundamental e suas técnicas principais atualmente utilizadas. Para tornar o método mais sistemático, propõe-se incorporar o Processo de Análise Hierárquica (AHP) na análise dos indicadores e na hierarquização dos setores de perigo. Comparou-se o mapeamento de perigo com a aplicação do AHP com o mapeamento de risco de escorregamentos realizado em São Sebastião (SP) pelo IG-SMA em 2005, verificando-se que os resultados do mapeamento de perigo com a aplicação do AHP foram mais conservadores em algumas áreas. Entretanto, os resultados com a aplicação do AHP, diminuiu a subjetividade e evidenciou a facilidade e praticidade em se verificar a contribuição (em forma de peso) dos indicadores de perigo na classificação do perigo nos setores mapeados. Também foram analisadas as opiniões de três especialistas nos julgamentos paritários dos indicadores de perigo de escorregamentos. Os resultados não mostraram discrepâncias na classificação do perigo.

Palavras-chave: mapeamento de perigo, escorregamentos, método AHP.

ABSTRACT

FARIA, D. G. M. _ Landslides Hazard Mapping in Brasilian Poor and Slum Urban Áreas with the application of the AHP Method. São Carlos, 2011.194p. and Apendices. Theses (Doctorate) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

The poor urban areas, also called slums are the most frequently affected by landslides and also the most vulnerable, leading to greater social harm mounts. This situation pushed a series of actions by public authorities in several Brazilian cities and states. In the federal level was, established a program, under the auspice of the Ministry of Cities, aimed to mitigating these risks with the development of hazard and risk mapping projects and implementation of preventive plans for civil defense, works of stabilization and redevelopment in these areas of risk.

In the State of São Paulo, the landslide mapping on poor and slum urban areas has been held since 1990 in several municipalities, through the initiatives of government agencies and with the participation of many institutions. The mapping method employs currently more used as main techniques to carry out systematic field surveys, surface investigations, use of fact sheets to store the information collected and the delimitation of areas of hazard and risk in aerial images, and recent large-scale and detail. This mapping method has been widely applied and often gave satisfactorily support to the initiatives to mitigate the risks of landslides, indicating the prior sites to receive those initiatives. Nevertheless, the method is questioned by the specialists because of its qualitative approach, the lack of use of traditional methods of geological and geotechnical investigation and analysis of slope stability and the high degree of subjectivity that sometimes can produce unreliable results.

The expected contribution to this research is to enhance the method of hazard mapping and risk of landslides in poor and slum urban areas by reducing its subjectivity for the comparison and ranking of sectors. It is not the intent of the research to change, its fundamental approach and its main techniques currently used. To this end, it is proposed to incorporate to the method the Analytic Hierarchy Process (AHP) in the systematic analysis of the indicators and the ranking of hazard sectors. We compared the hazard mapping with the application of the AHP and landslide risk mapping conducted in São Sebastião - SP by the IG-SMA in 2005, verifying that the results of the hazard mapping in the application of the AHP were more conservative in some areas. However, the results from the application of the AHP, decreased the subjectivity and demonstrated the ease and convenience to verify the contribution (in the form of weight) of the hazard indicators in the ranking of hazard in the areas mapped. We also analyzed the opinions of three experts in the trials of parity landslides hazard indicators. The results showed no discrepancies in the ranking of hazard.

Key words: hazard mapping, landslides, AHP method.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Representação dos setores de encosta números 4, 5, 6 e 7 nas cartas: (a) de suscetibilidade (fase determinística); (b) de perigo (fase probabilística); (c) de risco (modificado de AUGUSTO FILHO, 2001). 20

Figura 2.2 - Critérios e matriz de decisão com base no método AHP (modificado de MIRANDA, 2006). 29

Figura 2.3 - Ficha do setor de risco utilizada no mapeamento de encostas no município de São Paulo, representado a área n° 08 - Favela Marilac (CERRI et. al., 2007). 34

Figura 2.4 - Ficha geral de risco utilizada no mapeamento de encostas no município de São Paulo, representado a área n° 08 - Favela Marilac (CERRI *et. al*., 2007). 34

Figura 2.5 – Exemplo de estrutura hierárquica (modificado de SAATY,1990). 40

Figura 2.6 – Exemplo de comparação par a par (modificado de TEKMONO, 2006). 42

Figura 2.7 – Representação da matriz de comparação dos julgamentos apresentados na Figura 2.6. 42

Figura 2.8 - Exemplo de matriz de comparação transformada (modificada de TEKNOMO, 2006). 44

Figura 2.9 - Exemplo de matriz de comparação normalizada (modificada de TEKNOMO, 2006). 44

Figura 2.10 - Autovetor normalizado (modificada de TEKNOMO, 2006). 44

Figura 3.1 - Fluxograma das etapas principais do plano de pesquisa. 49

Figura 3.2 – Estruturação dos níveis hierárquicos para a aplicação do Método AHP. 56

Figura 3.3 – Exemplo da Escala Fundamental de SAATY na comparação par a par da declividade e do uso/cobertura do solo para o processo de escorregamento raso de solo em encosta natural. 56

Figura 3.4 – Exemplo da estruturação da matriz de decisão AHP para o processo de escorregamento raso de solo em encostas naturais. As marcações em azul indicam a comparação par a par exemplificada na Figura 3.3. 57

Figura 4.1 – Localização da área de estudo. (a) localização do município de São Sebastião no Estado de São Paulo; (b) indicação das áreas de risco de escorregamentos. 61

Figura 4.2 – Mapa Geomorfológico de São Sebastião – SP (modificado de RODRÍGUEZ, 2005). Fonte: SMA, 1996. 64

Figura 4.3 – Dados pluviométricos do município de São Sebastião – Posto Pluviométrico de Maresias – pluviograma acumulado médio mensal do período de 1970 a 1999 (Fonte: DAEE, 2003). 66

Figura 4.4 - Dados pluviométricos do município de São Sebastião – Posto Pluviométrico de São Francisco – pluviograma acumulado médio mensal do período de 1970 a 1999 (Fonte: DAEE, 2003). 67

Figura 4.5 – Mapa Geológico de São Sebastião – SP (modificado de RODRÍGUEZ, 2005). Fonte: IPT, 1981. 69

Figura 4.6 – Carta Geotécnica de São Sebastião – SP (modificado de RODRÍGUEZ, 2005). Fonte: IPT, 1994. 73

Figura 4.7 – Carta de Uso e Cobertura do solo de São Sebastião – SP (modificado de RODRÍGUEZ, 2005). Fonte: RODRÍGUEZ, 2000. 76

Figura 4.8 – Vista geral da ocupação da Área 1 – Topolândia (Foto: Acervo IG-SMA, 2005). 78

Figura 4.9 – Talude de corte em solo com aproximadamente 3,5 metros de altura (Foto: Acervo IG-SMA, 2005). 78

Figura 4.10 – Casa em “madeirite” construída em meio a presença de blocos rochosos parcialmente imersos em solo (Foto: Acervo IG-SMA, 2005). 79

Figura 4.11 – Sistema de captação de água nas encostas. (a) condução da água por meio de mangueiras; (b) captação em curso d’água; (c) emenda realizada com borracha e arame; (d) mangueira abastecendo a caixa d’água. (Fonte: Acervo PMSS, 2009). 80

Figura 4.12 – Localização da área 2 situada no Bairro de Toque-Toque Pequeno próxima à Rodovia SP 55 km 14. (Fonte: Acervo PMSS, 2001). 81

Figura 4.13 - Casas construídas em alvenaria – núcleo de ocupação ao longo do eixo principal da Rua Eleodório M. de Matos (Fonte: Acervo IG-SMA, 2005). 81

Figura 4.14 - Casas construídas em alvenaria construídas sobre depósitos de colúvio – núcleo de ocupação ao longo do eixo principal da Rua Adinal Castilho Batista (Fonte: Acervo IG-SMA, 2005). 82

Figura 4.15 – Moradias em alvenaria construídas em taludes de corte na base da encosta, próximo à Rodovia SP-55 km 14. (Fonte: Acervo IG-SMA, 2005). 82

Figura 4.16 – Vista geral da ocupação em encosta denominada de Vila Baiana (Fonte: Acervo IG-SMA, 2005). 83

Figura 4.17 – Moradia indicada com a seta azul, construída sobre aterro misto (Fonte: Acervo IG-SMA, 2009). 84

Figura 4.18 – Trincas no piso da varanda da moradia (Fonte: Acervo IG-SMA, 2009). 84

Figura 4.19 – Cicatriz de escorregamento em aterro misto (Fonte: Acervo IG-SMA, 2009). 85

Figura 4.20 – Ocupação em fase de consolidação situada na base da encosta (Fonte: Acervo IG-SMA, 2009). 85

Figura 4.21 - Localização da Área 4 em Juquehy, com a indicação dos quatro núcleos. (Fonte: Acervo PMSS, 2001). 86

Figura 4.22 – Ocorrências de escorregamentos registradas em outubro de 2009. (a) escorregamento em depósito de tálus – área sem ocupação; (b) escorregamento de solo atingindo parcialmente uma moradia (Fonte: Acervo PMSS, 2009). 87

Figura 4.23 – Seta vermelha indica depósito de tálus avançando sobre o pavimento asfáltico da Rodovia SP 55, no km 178 (Fonte: Acervo IG-SMA, 2009). 88

Figura 4.24 – Moradia construída na base de encosta natural (Fonte: Acervo IG-SMA, 2009). 89

Figura 4.25 – Ocupação na base da encosta de antiga área de retirada de saibro (Foto: Acervo IG-SMA, 2009). 90

Figura 4.26 – Área de Juquehy indicando o quarto núcleo de ocupação. (a) Talude de corte na frente da moradia; (b) Talude de corte com altura e declividade excessiva nos fundos da moradia (Fonte: Acervo IG-SMA, 2005). 90

Figura 4.27 – Talude de corte em rocha alterada com moradias construídas na base e topo do talude (Fonte: Acervo IG-SMA, 2009). 91

Figura 4.28 – Moradia construída no topo de talude de corte em rocha alterada (Fonte: Acervo IG-SMA, 2009). 92

Figura 4.29 – Moradias em construção na base de talude de corte para realização de acesso pela PMSS, indicado por setas amarelas (Fonte: Acervo IG-SMA, 2009). 92

Figura 4.30 – Vista geral da Área 6 – Topolândia/Itatinga (Fonte: Acervo IG-SMA, 2009). 93

Figura 4.31 - Escorregamento em rocha alterada atingindo os fundos da moradia. A seta amarela indica a cabeceira da cicatriz (Fonte: Acervo IG-SMA, 2010). 94

Figura 4.32 - Moradia construída muito próxima à base do talude de corte em rocha alterada (Fonte: Acervo IG-SMA, 2009). 94

Figura 4.33 - Moradia construída em talude de corte realizado em rocha alterada. Observar foliação da rocha. (Fotos: acervo IG-SMA, 2009). 95

Figura 4.34 – Resultados do mapeamento de risco de escorregamentos realizado pelo IG em 2005 nas 6 áreas selecionadas para aplicação do AHP. (a) quantidade de setores e seus respectivos graus de risco; (b) número de moradias ameaçadas nos setores em risco. (Fonte: IG-SMA, 2006). 97

Figura 5.1 – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade dos indicadores de perigo para o processo de escorregamento raso de solo em encostas naturais. 112

Figura 5.2 – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade para as classes do indicador de perigo amplitude nos escorregamentos rasos de solo em encostas naturais. 114

Figura 5.3 – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade para as classes do indicador de perigo declividade nos escorregamentos rasos de solo em encostas naturais. 114

Figura 5.4 – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade para as classes do indicador de perigo uso/cobertura nos escorregamentos rasos de solo em encostas naturais. 115

Figura 5.5 – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade para as classes do indicador de perigo nível d’água nos escorregamentos rasos de solo em encostas naturais. 116

Figura 5.6 – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade para as classes do indicador de perigo água superficial nos escorregamentos rasos de solo em encostas naturais. 116

Figura 5.7 – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade para as classes do indicador de perigo tipo de material nos escorregamentos rasos de solo em encostas naturais. 117

Figura 5.8 – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade para as classes do indicador de perigo estrutura geológica nos escorregamentos rasos de solo em encostas naturais. 117

Figura 5.9 – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade dos indicadores de perigo para escorregamento raso de solo/rocha em taludes de corte. 118

Figura 5.10 – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade para as classes do indicador de perigo amplitude para escorregamento raso de solo/rocha em taludes de corte. 120

Figura 5.11 – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade para as classes do indicador de perigo declividade para escorregamento raso de solo/rocha em taludes de corte. 120

Figura 5.12 – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade para as classes do indicador de perigo tipo de material nos escorregamentos de solo/rocha em taludes de corte. 121

Figura 5.13 – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade para os indicadores de perigo nos processos de rolamento/desplacamento de blocos rochosos. 124

Figura 5.14 – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade para as classes do indicador de perigo tipo de material no desplacamento/rolamento de blocos rochosos. 125

Figura 5.15 – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade para as classes do indicador de perigo estrutura geológica no rolamento/desplacamento de blocos rochosos. 126

Figura 5.16 – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade para as classes do indicador de perigo tipo de contato no desplacamento/rolamento de blocos rochosos. 127

Figura 5.17 – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade para as classes do indicador de perigo plano basal no desplacamento/rolamento de blocos rochosos. 127

Figura 5.18 – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade para as classes do indicador de perigo forma geométrica no desplacamento/rolamento de blocos rochosos. 128

Figura 5.19 – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade para as classes do indicador de perigo área de contato no desplacamento/rolamento de blocos rochosos. 128

Figura 5.20 – Resultados da matriz de decisão AHP, do autovetor e da análise de sensibilidade para os indicadores de perigo no processo de escorregamento em aterro. 129

Figura 5.21 – Resultados da matriz de decisão AHP, do autovetor e da análise de sensibilidade para as classes do indicador tipo de material no processo de escorregamento em aterro. 131

Figura 5.22 – Resultados da análise de perigo realizada para os 41 índices de perigo 137

Figura 5.23 - Resultado geral da análise de perigo para os diferentes tipos de processos de escorregamento identificados nos setores de perigo mapeados. 140

Figura 5.24 – Mapeamento de risco de escorregamentos realizado pelo IG-SMA na Área da Topolândia 156

Figura 5.25 – Mapeamento de perigo de escorregamentos com a aplicação do método AHP na Área da Topolândia. 158

Figura 5.26 - Mapeamento de risco de escorregamentos realizado pelo IG-SMA na Área de Toque-Toque Pequeno. 161

Figura 5.27 - Mapeamento de perigo de escorregamentos com a aplicação do método AHP na Área de Toque-Toque Pequeno. 162

Figura 5.28 - Mapeamento de risco de escorregamentos realizado pelo IG-SMA na Área da Vila Baiana – Barra do Sahy. 165

Figura 5.29 - Mapeamento de perigo de escorregamentos com a aplicação do método AHP na Área da Vila Baiana – Barra do Sahy. 166

Figura 5.30 - Mapeamento de risco de escorregamentos realizado pelo IG-SMA na Área de Juquehy. 169

Figura 5.31 - Mapeamento de perigo de escorregamentos com a aplicação do método AHP na Área de Juquehy. 170

Figura 5.32 - Mapeamento de risco de escorregamentos realizado pelo IG-SMA na Área de Itatinga. 173

Figura 5.33 - Mapeamento de perigo de escorregamentos com a aplicação do método AHP na Área de Itatinga. 174

Figura 5.34 - Mapeamento de risco de escorregamentos realizado pelo IG-SMA na Área de Itatinga/Topolândia. 177

Figura 5.35 - Mapeamento de perigo de escorregamentos com a aplicação do método AHP na Área de Itatinga/Topolândia. 178

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Tipos e características dos processos de escorregamentos (modificado de AUGUSTO FILHO, 1992). 6
Tabela 2.2 – Natureza, elementos expostos, tipos e valoração dos danos (modificado de ANJOS, 1999). 17
Tabela 2.3 - Estimativa da valoração dos danos dos elementos expostos ao risco a partir de valores padrão na área denominada “Flexal de Cima” (modificado de ANJOS, 1999). 18
Tabela 2.4 - Métodos de atribuição de pesos para critérios e variáveis (modificado de CASTELLANOS ABELLA, 2000, 2008; CASTELLANOS ABELLA & VAN WESTEN, 2001, 2008). 24
Tabela 2.5 – Classificação de Riscos (modificada de CERRI & CARVALHO, 1990) 30
Tabela 2.6 – Listagem de controle para diagnóstico de setores de risco e para descrição dos processos destrutivos (modificado de CERRI, 2006). 33
Tabela 2.7 – Critérios para caracterizar a densidade da ocupação e a infraestrutura implantada (modificado de CERRI, 2006). 33
Tabela 2.8 - Graus de risco considerados na setorização (modificado de CANIL *et al*. 2004; CERRI *et al*. 2004a; MACEDO *et al*. 2004a; CERRI, 2006; CERRI *et al*., 2007). 35
Tabela 2.9– Comparação teórica entre três Métodos Multicritérios de Apoio a Decisão (modificado de GUGLIELMETTI et. al., 2003). 38
Tabela 2.10 – Escala de julgamento de importância do Método AHP (modificada de SAATY, 1990). 41
Tabela 2.11 – Valores de consistência aleatória (CA) em função da ordem da matriz (SAATY, 1980 *apud* PAMPLONA, 1999). 46
Tabela 3.1 – Entrada de dados obtidos no levantamento de campo. 51
Tabela 3.2 – Estruturação da legenda dos indicadores de perigo e suas respectivas classes. 52
Tabela 3.3 - Estruturação da tabela chave de ponderação. 52
Tabela 3.4 – Critérios adotados para a classificação do índice de perigo (IP). 54

Tabela 4.1 – Síntese dos resultados das 6 áreas selecionadas do mapeamento de risco do IG-SMA em 2005 (modificado de SMA, 2006). 96
Tabela 5.1 – Natureza da encosta/talude, tipos de processos de escorregamentos e indicadores de perigo. 102
Tabela 5.2 – Classes de amplitude. 104
Tabela 5.3 – Classes de declividade. 105
Tabela 5.4 – Classes de uso/cobertura. 106
Tabela 5.5 – Classes do nível d'água e da água superficial. 107
Tabela 5.6 - Classes do tipo de material que compõe o solo. 108
Tabela 5.7 – Classes da estrutura geológica. 109
Tabela 5.8 – Classes de indicadores de perigo específicos para o processo de desplacamento/rolamento de blocos rochosos. 110
Tabela 5.9 - Dados de entrada dos trabalhos de campo realizados na Área da Topolândia no mapeamento de perigo de escorregamentos com a aplicação do Método AHP. 133
Tabela 5.10 - Dados de entrada dos trabalhos de campo realizados na Área de Toque-Toque Pequeno no mapeamento de perigo de escorregamentos com a aplicação do Método AHP. 133
Tabela 5.11 - Dados de entrada dos trabalhos de campo realizados na Área da Vila Baiana - Barra do Sahy no mapeamento de perigo de escorregamentos com a aplicação do Método AHP. 133
Tabela 5.12 - Dados de entrada dos trabalhos de campo realizados na Área de Juquehy no mapeamento de perigo de escorregamentos com a aplicação do Método AHP. 134
Tabela 5.13 - Dados de entrada dos trabalhos de campo realizados na Área de Itatinga no mapeamento de perigo de escorregamentos com a aplicação do Método AHP. 134
Tabela 5.14 - Dados de entrada dos trabalhos de campo realizados na Área de Itatinga/Topolândia no mapeamento de perigo de escorregamentos com a aplicação do Método AHP. 134
Tabela 5.15 – Chave de ponderação indicando os pesos das classes dos indicadores de perigo para a natureza da encosta/talude e para os tipos de processos de escorregamentos. 135

Tabela 5.16 – Critérios aplicados na análise de perigo de escorregamento dos 21 setores mapeados com a aplicação do AHP. 138
Tabela 5.17 – Correlação entre os critérios da classificação de risco no método adotado pelo Ministério das Cidades e da classificação do perigo com a aplicação do Método AHP. 139
Tabela 5.18 – Resultados dos critérios utilizados na análise do perigo de escorregamentos pelos três especialistas consultados e pela autora desta pesquisa. 141
Tabela 5.19 – Resultados da análise do perigo por meio das comparações par a par dos julgamentos da autora desta pesquisa e dos três especialistas consultados, na Área da Topolândia. 143
Tabela 5.20 – Resultados da análise do perigo por meio das comparações par a par dos julgamentos da autora desta pesquisa e dos três especialistas consultados, na Área de Toque-Toque Pequeno. 145
Tabela 5.21 – Pesos dos indicadores de perigo amplitude e declividade, resultantes dos julgamentos da autora e dos três especialistas. 146
Tabela 5.22 – Resultados da análise do perigo por meio das comparações par a par dos julgamentos da autora desta pesquisa e dos três especialistas consultados, na Área da Vila Baiana, Barra do Sahy. 147
Tabela 5.23 – Resultados da análise do perigo por meio das comparações par a par dos julgamentos da autora desta pesquisa e dos três especialistas consultados, na Área de Juquehy. 149
Tabela 5.24 – Resultados da análise do perigo por meio das comparações par a par dos julgamentos da autora desta pesquisa e dos três especialistas consultados, na Área de Itatinga. 151
Tabela 5.25 – Resultados da análise do perigo por meio das comparações par a par dos julgamentos da autora desta pesquisa e dos três especialistas consultados, na Área de Itatinga/Topolândia 153
Tabela 5.26 – Resultados do grau de risco no mapeamento do IG-SMA e da análise do perigo no mapeamento com a aplicação do AHP para a Área da Topolândia. 155

Tabela 5.27 – Resultados do grau de risco no mapeamento do IG-SMA e da análise do perigo no mapeamento com a aplicação do AHP para a Área de Toque-Toque Pequeno. 160
Tabela 5.28 – Resultados do grau de risco no mapeamento do IG-SMA e da análise do perigo no mapeamento com a aplicação do AHP para a Área da Vila Baiana – Barra do Sahy. 164
Tabela 5.29 – Resultados do grau de risco no mapeamento do IG-SMA e da análise do perigo no mapeamento com a aplicação do AHP para a Área de Juquehy. 168
Tabela 5.30 – Resultados do grau de risco no mapeamento do IG-SMA e da análise do perigo no mapeamento com a aplicação do AHP para a Área de Itatinga. 172
Tabela 5.31 – Resultados do grau de risco no mapeamento do IG-SMA e da análise do perigo no mapeamento com a aplicação do AHP para a Área de Itatinga/Topolândia. 176

SUMÁRIO

Volume 1

1. INTRODUÇÃO 1

1.1. Justificativas 3

1.2. Premissas, Hipótese de Trabalho e Objetivos 4

2. ASPECTOS CONCEITUAIS 6

2.1. Considerações Preliminares 6

2.2. Conceitos e Terminologia da Análise de Risco de Escorregamentos 7

2.3. Métodos de Análise e Mapeamento de Risco de Escorregamentos 11

2.3.1. Exemplos de mapeamentos de risco de escorregamentos em encostas urbanas brasileiras com abordagens quantitativas 16

2.3.1.1. Exemplo aplicado em Maceió (AL) 16

2.3.1.2. Exemplo aplicado em Caraguatatuba (SP) 19

2.3.1.3. Exemplo aplicado no Rio de Janeiro (RJ) 21

2.3.1.4. Exemplo aplicado em Petrópolis (RJ) 21

2.3.2. Exemplos de mapeamento de risco de escorregamentos em encostas urbanas com abordagens qualitativas 22

2.3.2.1. Exemplo aplicado em Cuba 23

2.3.2.2. Exemplo aplicado em Belo Horizonte (MG) 25

2.3.2.3. Exemplo aplicado em Salvador (BA) 27

2.3.2.4. Experiência em São Paulo (SP) 29

2.3.2.5. Proposta de Metodologia de Mapeamento do Ministério das Cidades 31

2.4. Métodos Multicritérios de Apoio a Decisão (MMAD) 36

2.4.1. O Método de Processo de Análise Hierárquica (AHP) 40

2.4.1.1. Julgamentos Paritários 40

2.4.1.2. Análise da Consistência dos Julgamentos 45

2.4.1.3. Valoração Global 47

3. MÉTODO E ETAPAS DA PESQUISA 48

3.1. Planejamento 49

3.2. Pesquisa Bibliográfica 49

3.3. Seleção da área de estudo 50

3.4. Estruturação da planilha de análise de perigo de escorregamento com o Método AHP 50

3.5. Aplicação da planilha de análise de perigo na área de estudo 54

3.5.1. Definições da natureza da encosta/talude e dos tipos de processos de escorregamentos nos setores de análise 55

3.5.2. Seleção dos indicadores de perigo e suas respectivas classes 55

3.5.3. Trabalhos de campo aplicando a planilha de análise de perigo 57

3.6. Aplicação da planilha de análise de perigo utilizando a opinião de especialistas 59

3.7. Análise dos resultados 60

3.8. Elaboração das conclusões 60

4. ÁREA DE ESTUDO 61

4.1. CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO 62

4.1.1. Geomorfologia 62

4.1.2. Clima 65

4.1.3. Geologia 67

4.1.4. Geotecnia 71

4.1.5. Uso e cobertura do solo 74

4.2. Caracterização geral das áreas de risco selecionadas para aplicação do Método AHP 77

4.2.1. Área 1 – Topolândia 77

4.2.2. Área 2 – Toque-Toque Pequeno 80

4.2.3. Área 3 – Vila Baiana – Barra do Sahy 83

4.2.4. Área 4 – Juquehy 86

4.2.5. Área 5 – Itatinga 91

4.2.6. Área 6 – Itatinga/Topolândia 93

4.3. Resultados obtidos no mapeamento de risco realizado pelo IG-SMA em 2005 95

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS 102

5.1. Mapeamento de perigo com aplicação do Método AHP 102

5.1.1. Natureza da encosta/talude, tipos de processos e indicadores de perigo 102

5.1.2. Classes de indicadores de perigo 103

5.1.2.1. Amplitude 103

5.1.2.2. Declividade 104

5.1.2.3. Uso/Cobertura 105

5.1.2.4. Água superficial e subsuperficial 106

5.1.2.5. Tipo de material que compõem o substrato das encostas/taludes 108

5.1.2.6. Estrutura Geológica 109

5.1.2.7. Contato, Ângulo do Plano de Basal, Forma Geométrica e Área de Contato dos Blocos Rochosos 110

5.1.3. Matriz de Decisão AHP 111

5.1.3.1. Escorregamento raso de solo em encosta natural 111

5.1.3.2. Escorregamento em talude de corte 118

5.1.3.3. Rolamento e Desplacamento de blocos rochosos 122

5.1.3.4. Escorregamento em aterro 128

5.1.4. Análise do Perigo 132

5.2. Aplicação da planilha de análise de perigo utilizando a opinião de especialistas 140

5.2.1. Área 1 – Topolândia 142

5.2.2. Área 2 – Toque-Toque Pequeno 144

5.2.3. Área 3 – Vila Baiana – Barra do Sahy 146

5.2.4. Área 4 – Juquehy 146

5.2.5. Área 5 – Itatinga 150

5.2.6. Área 6 – Itatinga/Topolândia 152

5.3. Comparação dos setores de risco e de perigo resultantes dos mapeamentos 154

5.3.1. Área 1 – Topolândia **154**

5.3.2. Área 2 – Toque-Toque Pequeno **159**

5.3.3. Área 3 – Vila Baiana – Barra do Sahy **163**

5.3.4. Área 4 – Juquehy **167**

5.3.5. Área 5 – Itatinga **171**

5.3.6. Área 6 – Itatinga/Topolândia **175**

6. CONCLUSÕES **179**

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS **182**

Volume 2

APÊNDICES **195**

Apêndice A: Comparações paritárias dos indicadores de perigo e suas respectivas classes, conforme a Escala de Saaty;

Apêndice B: Matrizes de Decisão AHP, autovetores e análise de sensibilidade dos indicadores de perigo e suas respectivas classes para cada tipo de processo;

Apêndice C: Matrizes de Decisão AHP, autovetores e análise de sensibilidade dos indicadores de perigo e suas respectivas classes para cada tipo de processo, definidas pelos especialistas.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, os processos de instabilização de encostas estão entre os principais fenômenos relacionados a desastres naturais em áreas urbanas precárias. Os escorregamentos em encostas estão associados a eventos pluviométricos intensos e prolongados, repetindo-se a cada período chuvoso.

De acordo com CARVALHO & GALVÃO (2006), levantamentos de riscos realizados em encostas de vários municípios brasileiros indicam que, em todos eles, a falta de infraestrutura urbana é uma das principais causas dos fenômenos de escorregamentos no Brasil. Dessa forma, uma política eficiente de prevenção de risco de escorregamentos em encostas deve considerar como áreas prioritárias de atuação os assentamentos precários.

As ocupações urbanas precárias em encostas devem também fazer parte das políticas municipais de habitação, saneamento e planejamento urbano.

A remoção da vegetação, a execução de cortes e aterros instáveis para a construção de moradias e vias de acesso, a deposição de lixo nas encostas, a ausência de sistemas de drenagem de águas pluviais e servidas, a elevada densidade populacional e a fragilidade das moradias favorecem o aumento tanto da frequência das ocorrências como a magnitude dos acidentes.

A identificação e análise de riscos consistem na primeira etapa para se estabelecer um programa de gerenciamento de riscos (UNDRO, 1991). Sem o conhecimento da dimensão do problema, não há como planejar e agir adequadamente para resolvê-lo. O diagnóstico de risco deve: informar quais são os indicadores ou evidências dos processos ambientais que, potencialmente, podem causar danos à população, às edificações ou à infraestrutura e descrevê-los; estabelecer alguma gradação ou hierarquização das situações identificadas; e estimar o número de edificações e de pessoas potencialmente afetadas (NOGUEIRA, 2006).

O mapeamento de risco (identificação, análise dos riscos e delimitação das áreas de sua ocorrência) é executado por meio de trabalhos de campo, nos quais, são avaliadas as possibilidades (probabilidades) de ocorrência dos processos destrutivos (perigo); a vulnerabilidade do elemento em risco (percentagem de perda esperada para o elemento submetido a situação perigosa) e as consequências sociais e/ou econômicas, caso ocorra um determinado processo destrutivo. Em termos absolutos, idealmente, o risco deve expressar um cálculo de danos sociais e/ou econômicos por período de tempo.

As principais etapas envolvidas neste tipo de mapeamento são: a) planejamento e levantamento de dados pré-existentes; obtenção das imagens aéreas de grande escala e recentes; b) realização das vistorias sistemáticas de campo; c) identificação e caracterização dos processos de instabilização atuantes (geometria, material movimentado, dinâmica, etc.) e delimitação dos setores de análise; d) identificação dos indicadores de perigo e de risco de cada setor de análise; e) análise do perigo e do risco por comparação entre os indicadores identificados e f) hierarquização qualitativa entre as diferentes situações identificadas, agrupando-as, em geral, em quatro níveis distintos de perigo e de risco: baixo, médio, alto e muito alto.

Segundo CERRI (2006), os mapeamentos de risco, no Brasil e em muitos outros países, são predominantemente realizados por avaliações qualitativas, ou seja, os riscos são identificados com base na opinião técnica da equipe que executa o mapeamento com o apoio de informações dos moradores da área mapeada. É realizada uma análise comparativa entre os resultados obtidos por diferentes equipes de campo como forma de padronização da classificação do risco, buscando garantir uma uniformidade na linguagem e nos critérios empregados.

Para aperfeiçoar as abordagens de mapeamento de risco considera-se pertinente sugerir e incorporar técnica quantitativa e diminuir a subjetividade da análise de perigo de escorregamentos. É neste sentido que se incorporou o Processo de Análise Hierárquica (*Analitic Hierarchy Process* – AHP) na análise dos indicadores e na hierarquização dos setores de perigo.

O AHP é um modelo de ponderação para auxiliar na tomada de decisão em problemas que envolvem a valoração e a hierarquização de fatores através da avaliação de um conjunto de critérios explicitados por pesos relativos, dentro de regras matemáticas pré-estabelecidas. Dessa forma, a presente pesquisa, busca uma melhor atuação na prevenção e gerenciamento dos riscos de escorregamentos.

Esta pesquisa foi estruturada em seis capítulos. O capítulo 1 é introdutório. O capítulo 2 apresenta os aspectos conceituais com ênfase na terminologia da análise de risco de escorregamentos. Também são apresentados os métodos de mapeamento de risco em encostas urbanas e os métodos de apoio à decisão e de análise de multicritérios, com destaque ao Processo de Análise Hierárquica (AHP). O capítulo 3 apresenta o método e as etapas que foram executadas no desenvolvimento da pesquisa. O capítulo 4 identifica e descreve a área de estudo, abordando os aspectos físicos e os condicionantes dos processos

de escorregamentos existentes na área de estudo, além dos resultados obtidos no mapeamento de risco realizado pelo IG-SMA. No capítulo 5 é apresentada a análise dos resultados obtidos com a incorporação do AHP no mapeamento de perigo de escorregamentos, além da comparação desses resultados com os do mapeamento realizado pelo IG-SMA. Também foram mostrados, neste capítulo, os resultados da aplicação do AHP nas áreas selecionadas utilizando a opinião de especialistas. O capitulo 6 apresenta as conclusões deste trabalho e a sugestão de temas para trabalhos futuros.

1.1. Justificativas

A presente pesquisa envolve o diagnóstico do perigo a escorregamentos em encostas urbanas precárias, porque é neste cenário que os escorregamentos planares envolvendo cortes e aterros em encostas naturais causam maior número de vítimas no Brasil.

A pesquisa justifica-se devido a necessidade crescente de se mapear o risco/perigo de escorregamentos em encostas urbanas nos municípios brasileiros, cujos resultados são decisivos para eficácia de políticas de intervenções voltada à consolidação da ocupação e de gerenciamento de riscos.

A análise do risco utilizando a probabilidade subjetiva, de acordo com CARVALHO (1996), é mais simples e ágil. É também adequada para situações em que se objetiva elaborar uma hierarquia preliminar dos setores de risco como subsídio para a implementação de ações que não dependem de maior precisão no estabelecimento da magnitude do risco de cada setor e que admitem, portanto, a agregação dos níveis de risco em poucas classes mais abrangentes (muito alto, alto, médio, e baixo).

A escolha e a aplicação do Processo de Análise Hierárquica (*Analytic Hierarchy Process - AHP*) foram realizadas como forma de explicitar e quantificar aspectos subjetivos envolvidos na análise do perigo de escorregamentos. Este método possui vários atributos desejáveis para a realização do estudo proposto, tais como: a) é um processo de decisão estruturado que pode ser documentado e repetido; b) é aplicável a situações que envolvem julgamentos subjetivos; c) utiliza tanto dados quantitativos como qualitativos; d) realiza medidas de consistência das preferências; e) há uma ampla documentação sobre suas aplicações práticas na literatura acadêmica; f) seu uso é apropriado para grupos de decisão (JIANYUAN, 1992; STEIGUER *et. al*, 2005). Portanto, a escolha do método deve-se

principalmente a possibilidade da coerência e consistência dos resultados obtidos serem avaliados por meio de análises específicas.

1.2. Premissas, Hipótese de Trabalho e Objetivos

A pesquisa teve como premissa geral de trabalho manter ao máximo os critérios, as técnicas e os demais fundamentos atualmente empregados no mapeamento de risco de escorregamentos em áreas urbanas precárias, dado sua comprovada aplicabilidade, generalização de uso e fundamentação técnico-científica.

A manutenção dos princípios gerais deste método de mapeamento de risco de escorregamento em áreas urbanas precárias justifica-se pela sua adequação aos condicionantes sociais, técnicos e à necessidade de ações rápidas de mitigação que caracterizam estas áreas de risco. Acrescenta-se a este fato, o reconhecimento do uso da opinião de especialistas (probabilidade subjetiva) do Comitê de Avaliação de Riscos de Escorregamentos da União Internacional de Geociências (IUGS), fundamento em que se baseia o método estudado de mapeamento de áreas urbanas, como uma abordagem válida cientificamente para a análise de perigo e de risco de escorregamentos.

Outra premissa adotada nesta pesquisa refere-se à diferenciação clara entre as etapas de análise de perigo e de risco, com a geração de produtos distintos em cada uma delas, seguindo a tendência técnica internacional e nacional.

Com base nestas premissas básicas, estabeleceu-se a seguinte hipótese de trabalho principal: “É possível diminuir o nível de subjetividade na análise dos indicadores e na hierarquização dos setores de perigo de escorregamentos, incorporando o Processo de Análise Hierárquica (AHP) nos procedimentos atualmente mais utilizados no Brasil no mapeamento de riscos de escorregamentos em encostas urbanas precárias”.

O aprimoramento técnico-científico do método de mapeamento de perigo, e consequentemente, de risco de escorregamentos em encostas urbanas precárias brasileiras é o objetivo principal deste trabalho, a ser alcançado por meio da verificação da hipótese de trabalho estabelecida.

Paralelamente a este objetivo principal, foram estabelecidos os seguintes objetivos complementares:

- Propor uma planilha de análise a ser incorporada aos procedimentos do mapeamento para a sistematização da identificação e análise dos indicadores de

perigo de escorregamentos por meio da atribuição de pesos relativos e para facilitar a hierarquização dos setores de perigo em quatro níveis, incorporando os procedimentos do AHP (*Analytic Hierarchy Process)*;

- Comparar a proposta de incorporação do AHP com a aplicação em áreas já mapeadas com outras abordagens;
- Verificar como os resultados da atribuição de pesos relativos dos indicadores de perigo realizados por outros especialistas, interferem na análise de perigo.

2. ASPECTOS CONCEITUAIS

2.1. Considerações preliminares

Esta pesquisa está voltada para os riscos geológicos associados aos movimentos de massa, ou escorregamentos, no seu sentido amplo, assim como foi definido por CRUDEN (1990). Segundo este autor, o escorregamento é um movimento de rocha, terra ou detritos encosta abaixo.

No presente trabalho, os principais processos utilizados na identificação e na análise dos escorregamentos foram definidos com base no trabalho de AUGUSTO FILHO (1992) e estão indicados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Tipos e características dos processos de escorregamentos (modificado de AUGUSTO FILHO, 1992).

PROCESSOS	DINÂMICA/GEOMETRIA/MATERIAL
Rastejos (*creep*)	• vários planos de deslocamento (internos) • velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade • movimentos constantes, sazonais ou intermitentes • solo, depósitos, rocha alterada/fraturada • geometria indefinida
Escorregamentos (*slides*)	• poucos planos de deslocamento (externos) • velocidades médias (m/h) a altas (m/s) • pequenos a grandes volumes de material • geometria e materiais variáveis: PLANARES – solos pouco espessos, solos e rochas com 1 plano de fraqueza CIRCULARES – solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas EM CUNHA – solos e rochas com dois planos de fraqueza
Quedas (*falls*)	• sem planos de deslocamento • movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado • velocidades muito altas (vários m/s) • material rochoso • pequenos a médios volumes • geometria variável: lascas, placas, blocos, etc. ROLAMENTO DE MATACÃO TOMBAMENTO
Corridas (flows)	• muitas superfícies de deslocamento • movimento semelhante ao de um líquido viscoso • desenvolvimento ao longo das drenagens • velocidades médias a altas • mobilização de solo, rocha, detritos e água • grandes volumes de material • extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas

2.2. Conceitos e Terminologia da Análise de Risco de Escorregamentos

Os conceitos de risco e perigo geológico foram consolidados na década de 80 (VARNES *et. al*. 1984; EINSTEIN, 1988).

Para a avaliação de risco, VARNES *et. al.* (1984) considera a equação (1) a seguir:

$$\mathbf{R_t = E \times R_s \text{ ou } R_t = E \times H \times V} \qquad (1)$$

onde,

$\mathbf{R_t}$	**Risco Total**, número esperado de perdas de vidas, de pessoas afetadas, danos a propriedades ou interrupção de atividades econômicas, relacionadas a um fenômeno natural (induzido ou não);
$\mathbf{R_s}$	**Risco Específico**, grau esperado de perda devido a um fenômeno natural
E	**Elementos sob Risco**, população, propriedades, atividades econômicas, incluindo serviços públicos, etc., sob risco numa dada área;
H	**Perigo Natural** (*Natural Hazard*), probabilidade de ocorrência de um fenômeno potencialmente perigoso, num determinado período de tempo e numa dada área;
V	**Vulnerabilidade**, grau de perda ou dano de um determinado elemento ou conjunto de elementos sob risco, resultante da ocorrência de um fenômeno natural e com uma dada magnitude. É expressa numa escala de 0 (nenhum dano) a 1 (perda total).

VARNES *et. al.* (*op. cit*.) adotou a definição de Perigo Natural utilizada pelo *United Nations Disaster Relief Office* (UNDRO, 1982).

EINSTEIN (1997) introduziu os conceitos de Perigo (*Danger*), Ameaça (*Hazard*) e Risco (*Risk*), definindo: Perigo (*Danger*) como um fenômeno natural, como por exemplo, escorregamento caracterizado geométrica e mecanicamente, utilizando procedimentos classificatórios existentes, sem envolver qualquer prognóstico; Ameaça *(Hazard)* como a probabilidade de que um perigo particular ocorra em um determinado período de tempo; Risco *(Risk)* como função da probabilidade de ocorrência da ameaça e das consequências, ou seja, do dano potencial, o qual pode envolver perdas de vidas ou ferimentos a pessoas, perdas de capital ou danos ambientais não monetários.

Avaliações recentes sobre o uso do conceito de risco mostram que houve inicialmente uma sobreposição dos conceitos de perigos geológicos com risco (RODRIGUES-CARVALHO, 1998). No entanto, atualmente este conceito aproxima-se

mais da definição das companhias de seguro, as quais incluem os conceitos de vulnerabilidade e de valor do dano do elemento em risco (ZUQUETTE, 1993; OGURA, 1995; ANBALAGAN & SINGH, 1996; BESIO *et al.*, 1998; TURRINI & VISINTAINER, 1998; HERMELIN, 2000; AUGUSTO FILHO, 2001; ONU, 2004; TOMINAGA *et al.*, 2001, 2004), ainda que uma definição consensual não exista.

A maioria das propostas envolve a consideração da possibilidade de ocorrência do evento destrutivo e as consequências potenciais desse evento. AUGUSTO FILHO *et. al*. (1990) propõem uma relação baseada nesses dois parâmetros principais, a frequência ou probabilidade de ocorrência de determinado fenômeno e a perda socioeconômica associada, conforme equação (2) a seguir.

$$\mathbf{R = P \cdot C} \qquad (2)$$

Onde: *R = risco*; *P = probabilidade* (ou frequência) de ocorrência de um fenômeno destrutivo e *C = consequências*, sociais e/ou econômicas a serem registradas, caso ocorra um determinado fenômeno destrutivo (AUGUSTO FILHO *et. al*., 1990; CARVALHO, 1996; CERRI, 1993; 2006; CERRI & AMARAL, 1998).

AUGUSTO FILHO *et. al*. (1990) recomendam que, o desmembramento destes dois parâmetros deverá ser analisado caso a caso, principalmente, em função da qualidade e quantidade dos dados disponíveis para a realização da análise de risco.

Esta proposta de conceito de risco foi adotada pelo Ministério das Cidades na metodologia de mapeamento de risco de escorregamentos e inundações (BRASIL, 2004; 2007).

CARVALHO (2000) afirma que a avaliação das consequências abrange o julgamento a respeito dos elementos em risco e de sua vulnerabilidade. Nas análises de risco em favelas, é comum que, apenas as moradias sejam consideradas como elemento em risco.

NOGUEIRA (2002, 2006) define Risco (**R**) como a probabilidade (**P**) de ocorrer um fenômeno físico (ou perigo) **A**, em local e intervalo de tempo específicos e com características determinadas (localização, dimensões, processos e materiais envolvidos, velocidade e trajetória); causando consequências **C** (às pessoas, bens e/ou ao ambiente), em função da vulnerabilidade **V** dos elementos expostos; podendo ser modificado pelo grau de gerenciamento **g**. Essa conceituação é representada pela equação (3) a seguir.

$$\mathbf{R = P\,(f\,A)\,.\,C\,(f\,V)\,.\,g^{-1}} \qquad (3)$$

O relatório organizado pela *International Strategy for Disaster Reducion* (ISDR) "*Living with Risk: a global review of disaster reduction initiatives*" (ONU, 2004) propõe a criação de uma terminologia comum sobre o tema "redução de desastres". O risco é definido como a probabilidade de consequências prejudiciais ou danos esperados (perdas de vidas, ferimentos a pessoas, danos a propriedades, interrupção de atividades econômicas ou degradação ambiental), resultantes da interação entre perigos naturais ou induzidos pela ação humana e as condições de vulnerabilidade. Assim, *Risco* pode ser expresso pela notação: *Risco = Perigo x Vulnerabilidade*.

Onde: o *Perigo* é um evento físico ou atividade humana potencialmente danosa que pode causar perdas de vidas, ferimentos a pessoas, danos a propriedades, interrupção de atividades econômicas ou degradação ambiental; a *Vulnerabilidade* é representada por condições determinadas por fatores ou processos físicos, sociais, econômicos e ambientais, que aumentam a suscetibilidade de uma comunidade ao impacto do perigo, ou seja, *Vulnerabilidade* é o grau de suscetibilidade do elemento exposto ao perigo.

O conceito de risco e sua aplicabilidade são fundamentais para definição dos parâmetros e condicionantes da análise de risco e posterior entendimento dos produtos elaborados. Neste trabalho adotou-se o conceito de risco de AUGUSTO FILHO *et. al*. (1990).

Com base no conceito considerado é necessário diferenciar as cartografias de perigo e risco, pois existem mapas de suscetibilidade, de perigos e de riscos (BRABB, 1984; VARNES *et. al*., 1984; SPIKER & GORI, 2000; DELGADO *et. al*., 2006). A aplicação do tipo de mapa depende da disponibilidade da informação e da finalidade do produto final.

O mapa de suscetibilidade descreve as áreas com potencial para escorregamentos. Segundo FERNANDES & AMARAL (1996) este mapa deve conter informações sobre a probabilidade espacial e temporal, tipos de escorregamentos, magnitudes e velocidades de avanço num determinada área geográfica.

De acordo com EINSTEIN (1988), o mapa de suscetibilidade deve ser resultante da combinação das características do meio físico (tipo de solo, declividade, clima, entre outros) e do mapa de inventário de escorregamentos. Os atributos (indicadores) descritos neste mapa são analisados em termos qualitativos, indicando, por exemplo, baixa, média ou alta suscetibilidade.

Os mapas de perigo representam a probabilidade (espacial e temporal) da ocorrência dos fenômenos ou processos geológicos, com potencial de causar danos sociais e/ou econômicos (GARCIA & ZÊZERE, 2003). Estes mapas indicam onde e quando pode ocorrer o fenômeno geológico e podem utilizar um esquema de cores que se relaciona com cores fortes (vermelho, laranja e amarelo) para as áreas instáveis e medianamente instáveis e cores frias (azul e verde) para áreas mais estáveis (SPIKER & GORI, 2000, 2003).

Os mapas de risco representam os resultados da estimativa da extensão (quantificação) dos prováveis danos sociais e/ou econômicos por período de tempo, decorrentes de um perigo natural ou induzido. Os resultados dessa análise quantitativa devem ser expressos em unidade monetária/ano (CENDRERO *et. al*. 1987; AYALA & PENA, 1989; ZUQUETTE, 1993; OGURA, 1995; AUGUSTO FILHO, 2001; REMONDO *et al*., 2008; FELL *et. al*., 2008).

Para RODRIGUES-CARVALHO (1998) a avaliação do risco pressupõe, ou melhor, impõe uma avaliação quantitativa. Além disso, as cartas de risco são de difícil realização devido a dificuldade de se obter os dados necessários, uma vez que pressupõe o conhecimento da probabilidade de ocorrência do fenômeno, a quantificação da vulnerabilidade e do valor dos elementos em risco.

EINSTEIN (1997) afirma que uma das dificuldades práticas de se calcular o risco, como um produto do perigo e as consequências, está na quantificação das consequências, uma vez que um escorregamento, com uma determinada probabilidade de ocorrer, pode provocar diferentes consequências ou danos, e em geral é difícil associar custos diretamente a estes danos.

RODRIGUES-CARVALHO (*op. cit*.) pondera ainda que os mapas de risco tem uma aplicabilidade temporal limitada, devido ao caráter dinâmico dos elementos em risco, especialmente nas áreas com maior pressão em relação ao uso e ocupação do solo. Portanto estes mapas não são apropriados para o planejamento municipal que necessita de informações de natureza preventiva quanto aos perigos geológicos e, por outras razões, como o tempo de execução, o custo e o horizonte temporal de utilização. Entretanto, a aplicação da análise de risco fundamenta as seguradoras no cálculo de tarifas de seguro.

Para AUGUSTO FILHO (2001) no meio técnico nacional, os termos suscetibilidade e risco, possuem uma diferenciação mais clara quanto às características dos respectivos produtos cartográficos, apesar das cartas de risco produzidas aqui, na verdade, não serem cartas risco (*risk maps*), ou seja, a grande maioria delas não expressa os graus de

risco em termos de danos por ano, mas em geral, apenas de forma qualitativa e relativa (muito alto, alto, médio e baixo risco).

AUGUSTO FILHO (*op. cit.*) ainda sugere a adoção da denominação diferenciada para os termos suscetibilidade, perigo e risco facilitando, dessa forma, a adequação destes conceitos dentro da terminologia internacional, em particular, a apresentada pelo IUGS *Working Group - Committee on Risk Assessment* (1997).

Nesta pesquisa adotou-se o termo "perigo" no mapeamento das áreas. Entende-se que a possibilidade de ocorrência de um fenômeno potencialmente perigoso é indicada por meio da identificação e caracterização dos condicionantes e indícios de instabilidade do processo de escorregamento. A magnitude do processo é dada pela análise do perigo (grau de perigo). A área com possibilidade de ser atingida (*onde*) é delimitada por meio da setorização (zoneamento) de perigo. O período de tempo considerado (*quando*) corresponde ao ciclo hidrológico anual, conforme sugerido por CARVALHO (1996) e MACEDO (2001).

2.3. Métodos de análise e mapeamento de risco de escorregamentos

Diante da grande diversidade de abordagens dos métodos de análise e mapeamento de risco de escorregamentos, são destacadas neste item, apenas algumas propostas que têm sido adotadas como principais referências.

Para a ONU (2004), a avaliação e a análise de risco constituem etapa fundamental para a adoção de políticas e medidas adequadas para a redução dos efeitos dos escorregamentos. Sua relevância para o planejamento e desenvolvimento das estratégias de redução de desastres, foi tratada com especial atenção durante a Década Internacional de Redução dos Desastres Naturais (*International Decade for Natural Disaster Reduction* - IDNDR/ONU).

A identificação dos riscos geológicos de escorregamentos envolve a indicação das áreas suscetíveis à ocorrência destes processos (identificação do perigo) e as consequências sociais e econômicas potenciais (identificação dos possíveis danos). É necessário também realizar a análise da correlação dos escorregamentos com a pluviosidade (definição temporal) e a possibilidade de sua indução em razão das intervenções antrópicas provocadas pela ocupação das encostas (CERRI, 1993).

Segundo CERRI (1993); CARVALHO (1996); CERRI *et. al*. (2007), conforme a escala de trabalho, a identificação do risco de escorregamentos nos mapeamentos em encostas ocupadas pode ser realizada em duas classes de detalhe: o zoneamento e o cadastramento de risco. No zoneamento de risco são delimitados setores nos quais se encontram instaladas várias moradias. Para cada setor identificado é atribuído um mesmo grau de risco, embora possa haver algumas moradias no setor que não apresentem o grau de risco atribuído ao setor e, eventualmente, podem ocorrer até mesmo moradias sem risco. Já nos cadastramentos de risco de escorregamentos em encostas ocupadas, os trabalhos de mapeamento são executados em maior detalhe, com os riscos identificados e analisados moradia por moradia.

CERRI (1993) e CARVALHO (1996) recomendam que inicialmente sejam realizados zoneamentos de risco para, em seguida, realizar os cadastramentos nas áreas visando otimizar os trabalhos de identificação e análise de risco. Desse modo, os resultados do zoneamento de risco podem indicar as áreas prioritárias para a realização do cadastramento, otimizando assim, os trabalhos de campo a serem executados.

Para VARNES *et al*. (1984) e FELL *et al*. (2008), zoneamento ou setorização são áreas ou domínios homogêneos, classificados de acordo com o grau de suscetibilidade, perigo ou risco de escorregamentos, atual e potencial.

Com base em diversos trabalhos (VARNES, 1978; CARRARA *et. al*., 1995; HUTCHINSON, 1995; SOETERS & VAN WESTEN, 1996; IUGS *Working Group - Committee on Risk Assessment*, 1997; VAN WESTEN *et. al*., 1997; ALEOTTI & CHOWDHURY, 1999; GUZETTI *et. al*., 1999; GORSEVSKI *et. al*., 2003; GUZETTI, 2005, entre outros), observa-se que os métodos de classificação do risco de escorregamentos em diferentes níveis podem ser diferenciados em: quantitativos e qualitativos.

A análise qualitativa envolve o conhecimento dos seguintes parâmetros básicos: perigos, elementos em risco e sua vulnerabilidade. O grau de risco resultante desta análise é estabelecido por classes literais, ou seja, por termos linguísticos: baixo, médio e alto (IUGS *Working Group on Landslides - Committee on Risk Assessment*, 1997).

CARVALHO (2000) considera que nas análises qualitativas: o profissional experiente avalia: os condicionantes e os indícios de ocorrências do processo de instabilização; compara com situações existentes na área estudada e; com base em sua

experiência, hierarquiza as situações de risco em função da possibilidade de ocorrência do processo em um determinado período de tempo (geralmente um ano).

A análise de risco ou de perigo qualitativa também é considerada válida no meio técnico internacional e grupos de trabalho ligados à *International Strategy for Disaster Reducion* (ISDR) principalmente, em trabalhos emergenciais, como é comum nos grandes centros urbanos brasileiros (AUGUSTO FILHO, 2001).

Os métodos quantitativos produzem uma estimativa numérica, isto é, a probabilidade de ocorrência de escorregamentos e a distribuição probabilística das consequências numa determinada área.

Segundo IUGS (1997), a análise do risco quantitativa abrange as seguintes etapas:

- análise da probabilidade e das características dos escorregamentos potenciais;
- identificação dos elementos em risco, isto é, seu número e características, incluindo sua variabilidade temporal e vulnerabilidade aos perigos identificados;
- análise da vulnerabilidade do elemento em risco e;
- cálculo do risco a partir dos resultados das etapas anteriores.

Nos trabalhos de CARRARA *et.al*., (1992, 1995); SOETERS & VAN WESTEN, (1996); VAN WESTERN *et. al.* (1997); ALEOTTI & CHOWDHURY, 1999; GUZZETTI *et al*., (1999), a análise de risco pode ser realizada por quatro diferentes métodos: inventário, heurístico, estatístico e determinístico.

O método de inventário representa a distribuição espacial dos escorregamentos, podendo incluir informações como tipologia, dimensões, forma e recorrência. As feições das cicatrizes de escorregamentos são mapeadas por meio de levantamentos em campo, imagens de sensoriamento remoto e fotografias aéreas (VARNES, 1978; HANSEN, 1984; HUTCHINSON, 1988).

O método heurístico trata da análise qualitativa do risco e é fundamentado na probabilidade subjetiva, onde os graus de risco são definidos por meio de julgamentos de especialistas com conhecimento prévio dos processos de instabilização e da área de estudo (GLADE & CROZIER, 2005). Baseia-se em levantamentos de campo e em mapas geoambientais do terreno (CARRARA *et al*., 1995; BARREDO *et al*., 2000). Geralmente, os levantamentos de campo buscam identificar os fatores topográficos, hidrológicos, geológicos e geotécnicos, além da cobertura vegetal, considerada normalmente no uso do solo (GLADE & CROZIER, 2005).

Atualmente, existem ferramentas de suporte à decisão baseadas em SIG e aplicadas no desenvolvimento de análises heurísticas de perigo a escorregamentos. Essas ferramentas permitem melhor estruturação dos vários componentes envolvidos na análise, comparando-os por meio de um caminho lógico e podendo realizar abordagens objetivas e subjetivas (SAATY, 1980 *apud* CASTELLANOS ABELLA & VAN WESTEN, 2008). As ferramentas de suporte à decisão, tais como: as análises de multicritérios; ainda não têm sido utilizadas corriqueiramente nas análises qualitativas de perigo a escorregamentos (CASTELLANOS ABELLA & VAN WESTEN, 2008).

O método estatístico tem como princípio básico a existência de inter-relações entre os fatores condicionantes da instabilização e a distribuição espacial dos escorregamentos antigos e recentes na paisagem. Desta forma, assume-se que os fatores que causaram os escorregamentos em uma determinada área correspondem aos mesmos que poderão gerar escorregamentos futuros em outras áreas (CARRARA *et al*., 1995). Neste método, os critérios e regras de combinação são baseados em fatos, ou seja, padrões mensurados a partir de observações de campo, em vez da experiência do pesquisador, tornando-se de suma importância, a disponibilidade de extensos bancos de dados representativos dos processos a serem previstos, fato este ainda raro na realidade brasileira (FERNANDES *et. al*., 2001).

KEENEY & RAIFFA (1976) afirmam que no caso dos riscos geológicos, nos quais geralmente os dados disponíveis são insuficientes para análises estatísticas formais, os riscos podem ser analisados, avaliados ou estimados pela experiência ou com base em outros eventos ou acidentes já ocorridos. Este procedimento também é denominado de análise com base em probabilidade subjetiva.

O método determinístico tem como base os modelos de estabilidade que utilizam os princípios da mecânica dos solos. Este método necessita de informações detalhadas das encostas, ensaios de laboratório e medições em campo, tais como: atributos topográficos, condições hidrológicas e parâmetros geotécnicos do solo (coesão, ângulo de atrito, poro-pressão, altura do lençol freático e resistência ao cisalhamento).

Assim como o método estatístico, este também busca eliminar a subjetividade, quantificando os graus de risco em valores absolutos, como por exemplo, por meio do cálculo do fator de segurança. Portanto, a suscetibilidade e classes de risco podem ser definidas de acordo com faixas de fator de segurança (TERLIEN *et al*., 1995; WESTEN *et. al.* (1997); DAI *et. al.*, 2002). Este fator resulta da razão entre as forças de resistência ao

cisalhamento e as de tensão cisalhante, ou seja, da relação entre as forças resistentes ao movimento e as solicitantes do mesmo.

De acordo com SAVAGE *et al*. (2004), o método determinístico pode ser utilizado na aplicação de modelos hidrológicos combinados com modelo de análise de estabilidade de talude infinito para estimar a instabilidade potencial relativa da encosta em um Sistema de Informação Geográfica (SIG). Dentre os modelos matemáticos que utilizam bases determinísticas na previsão de áreas suscetíveis a escorregamentos planares, destacam-se: SHALSTAB (*Shallow Landslide Stability*: MONTGOMERY & DIETRICH, 1994), TRIGRS (*Transient Rainfall Infiltration and Grid-based Regional*: SAVAGE *et al*., 2003), entre outros.

A desvantagem do método determinístico está no alto grau de simplificação, principalmente para mapeamentos em escala regional, devido à grande variabilidade dos parâmetros geotécnicos. Desta forma, o desempenho do método depende da quantidade e da qualidade dos dados coletados (VAN WESTEN *et al*., 1997; FERNANDES *et al*., 2001; DAI *et al*., 2002).

A aplicação da ferramenta de Sistema de Informação Geográfica (SIG) principalmente nos métodos de análise de riscos quantificados tornou os procedimentos matemáticos mais fáceis de serem realizados e consequentemente, houve maior divulgação destes métodos no meio científico (ALEOTTI & CHOWDHURY, 1999).

A grande maioria das cartas de risco geológico produzidas mundialmente, e em particular no Brasil, talvez devessem ser mais propriamente denominadas de cartas de perigo ou de ameaça, uma vez que nestes produtos, não existe a quantificação do risco em termos de danos potenciais (sociais e econômicos) por um período de tempo, mas no máximo, determinam as probabilidades relacionadas a determinados eventos e acidentes geológicos, utilizando métodos estatísticos formais ou não (AUGUSTO FILHO, 2001).

Em relação aos diferentes tipos de métodos apresentados, a presente pesquisa foi direcionada para uma abordagem qualitativa baseada na opinião de especialistas (probabilidade subjetiva). A incorporação da atribuição de pesos numéricos dentro de regras matemáticas pré-estabelecidas pelas técnicas AHP objetivou reduzir os níveis de subjetividade envolvidos na análise dos indicadores e na hierarquização dos setores de perigo de escorregamentos. Com este procedimento, agrega-se um índice numérico às classes de perigo identificadas (baixo, médio, alto e muito alto), que apesar de não

representar propriamente a probabilidade do evento perigoso, permite uma comparação menos subjetiva entre as situações identificadas.

2.3.1. Exemplos de mapeamentos de risco de escorregamentos em encostas urbanas brasileiras com abordagens quantitativas

Apesar da análise quantitativa ser pouco utilizada no Brasil, essa análise é aplicada nos mapeamentos de risco dos municípios onde existe um banco de dados consistente, com informações precisas sobre escorregamentos ocorridos ao longo do tempo. Essas informações devem conter dados sobre a intensidade das precipitações pluviométricas, as causas do acidente, os volumes mobilizados, a recorrência dos processos, os danos causados às pessoas e bens, entre outras informações (CERRI, 2006).

A seguir serão apresentadas algumas experiências utilizando a análises semi-quantitativas e quantitativas do risco.

2.3.1.1. Exemplo aplicado em Maceió (AL)

ANJOS (1999) desenvolveu um modelo empírico e semi-quantitativo para avaliação de risco nas encostas urbanas de Maceió (AL), aplicando a ferramenta de Sistema de Informação Geográfica (SIG). A concepção do modelo compreendeu três métodos científicos:

- Dedutivos, que envolveram estudos das propriedades e características geotécnicas, geológicas e morfométricas, estendendo-se a processos construtivos (edificações), escavações, retroanálises de acidentes e análises estatísticas dos processos de instabilização, além da probabilidade associada ao acidente;
- Indutivos que permitiram inferir quantificações dos diversos processos antrópicos que interferem na magnitude da instabilização e;
- Experimentais que constituíram principalmente os ensaios de laboratório, as análises estatísticas, as simulações e a redação da memória descritiva do modelo.

O valor do fator de segurança calculado foi comparado com a variação desse mesmo fator de segurança submetido aos diferentes fatores exógenos identificados na área de estudo (cortes, escavações, densidade da cobertura vegetal, edificação, esgotamento sanitário, escoamento superficial, entre outros). O modelo permitiu identificar o grau de

suscetibilidade e as respectivas probabilidades de acidentes frente a esses diferentes fatores exógenos. O risco foi calculado por meio da probabilidade de ocorrência do acidente e da valoração do dano, resultando num mapa de risco com diferenciação entre as classes em valores monetários (denominados de valores reais).

A definição dos danos conforme a natureza, tipologia e elementos expostos ao risco foi realizada com base no trabalho desenvolvido por VALENCIA & VELASQUEZ (1977). A valoração dos danos foi estimada a partir de custos médios, os quais são apresentados na Tabela 2.2 a seguir:

Tabela 2.2 – Natureza, elementos expostos, tipos e valoração dos danos (modificado de ANJOS, 1999).

Natureza do dano	Elementos expostos	Tipos de danos	Valoração
CORPORAIS	PESSOAS	danos morais	1.000
		danos psicológicos	5.000
		ferimentos leves sem sequelas	500
		ferimentos graves (invalidez)	2.500
		mortes	10.000
ESTRUTURAIS	CONSTRUÇÕES	danos pequenos, não estruturais	100
		trincas em muros. Reparos não urgentes	200
		deformações importantes, fissuras em elementos estruturais	500
		fratura na estrutura, evacuação imediata	1.000
		desmoronamento parcial ou total da estrutura:	
		casas de taipa	5.000
		casas em alvenaria com um pavimento	10.000
		casas em alvenaria com dois pavimentos	15.000
	VIAS	dano em calçadas	100
		afundamento da plataforma e obstrução de calçadas	500
		obstrução de calçadas de grandes volumes	1.500
		ruptura da plataforma	3.000
	DUTOS	obstrução	500
		deslocamento	1.500
		ruptura	5.000
	LINHAS	deslocamento	1.000
		ruptura	3.000
	CANAIS (sarjetas)	obstrução	200
		fissuramento	1.000
		ruptura	3.000
	SOLOS	degradação	500
		pequena variação topográfica	500
		grande variação topográfica	1.000
	MOBILIÁRIO-VEÍCULOS	danos recuperáveis	1.000
		danos irrecuperáveis	5.000
FUNCIONAIS	ATIVIDADE ECONÔMICA	diminuição	200
		interrupção temporária	500
		interrupção definitiva	5.000
	ALOJAMENTO	desalojamento temporário (remoção provisória)	300
		desalojamento definitivo (remoção definitiva)	5.000
	EMPREGO	interrupção temporária (horas, semanas)	200
		interrupção prolongada (meses)	500
		perda do emprego	1.000
	TRANSPORTE, COMUNICAÇÃO, DISTRIBUIÇÃO	diminuição do tráfego	200
		limitação de cargas	500
		interrupção momentânea (horas)	1.000
		interrupção prolongada (dias)	5.000
		interrupção a longo prazo (meses) ou definitiva	10.000
	SOCORRO	perda provisória	1.000
		perda definitiva	5.000

Os danos sociais foram associados aos danos econômicos e vinculados ao tipo de habitação exposta ao risco.

A Tabela 2.3 mostra as estimativas da valoração dos danos dos elementos expostos ao risco na área denominada “Flexal de Cima”, situada no município de Maceió (AL). Essas estimativas de valoração (danos) foram determinadas a partir dos valores padrão apresentados na Tabela 2.2 e dos valores dos danos mostrados na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Estimativa da valoração dos danos dos elementos expostos ao risco a partir de valores padrão na área denominada “Flexal de Cima” (modificado de ANJOS, 1999).

Elementos expostos	Danos econômicos (estruturais)		Danos sociais (corporais e funcionais)						
moradias	estrutura (total ou parcial)	recuperáveis (mobiliário)	n° habitantes/moradia	n ° mortes	ferimentos leves	danos psicológicos	alojamento temporário	n° de pessoas com interrupção temporária de emprego	n° de pessoas com interrupção prolongada de emprego
taipa	5.000	1.000	4	2x10.000 = 20.000	1x500 = 500	1x5.000 = 5.000	2x300 = 600	1x200 = 200	1x500 = 500
alvenaria: um pavimento	10.000	1.000	5	2x10.000 = 20.000	2x500 = 1.000	1x5.000 = 5.000	3x300 = 900	2x200 = 400	1x500 = 500
alvenaria: dois pavimentos	15.000	1.000	6	2x10.000 = 20.000	2x500 = 1.000	2x5.000 = 10.000	4x300 = 1.200	2x200 = 400	2x500 = 1.000
Elementos expostos	soma	Valores padrão para os danos sociais (corporais e funcionais)							
taipa	32.800								
alvenaria: um pavimento	38.800	Elementos expostos	n° habitantes/moradia	n ° mortes	ferimentos leves	danos psicológicos	alojamento temporário	n° de pessoas com interrupção temporária de emprego	n° de pessoas com interrupção prolongada de emprego
alvenaria: dois pavimentos	49.800	taipa	X	50% X	25% X = Y	25% X = Z	Y + Z	50% X	25% X
Elementos expostos	valoração por ruptura	alvenaria: um pavimento	X	35% X	35% X = Y	35% X = Z	Y + Z	35% X	30% X
valas de drenagem	3.000	alvenaria: dois pavimentos	X	35% X	35% X = Y	35% X = Z	Y + Z	35% X	30% X

A aplicação do método mostrou que intervenções simples como, por exemplo, canaletas de drenagem revestidas indicaram uma forma mais econômica de obras de minimização do risco nas encostas. As áreas de risco com valores monetários altos correspondem à ocupações situadas em linhas de drenagens naturais, onde a umidade no solo é sempre mais elevada e ocorre de forma permanente (altos índices de suscetibilidade e valoração dos danos).

Observa-se no modelo desenvolvido por ANJOS (1999) que, assim como a grande maioria dos métodos quantitativos e semi-quantitativos a produção de dados de campo e de laboratório é normalmente demorada e de custos financeiros elevados. Em face da variação temática envolvida no método, sua funcionalidade não é facilmente assimilada por técnicos não especializados.

2.3.1.2. Exemplo aplicado em Caraguatatuba (SP)

AUGUSTO FILHO (2001) desenvolveu uma metodologia de elaboração de cartas de risco de escorregamentos quantificadas com o objetivo de subsidiar a implementação de planos de seguro como medida de mitigação de risco nas cidades brasileiras. A área piloto escolhida para aplicação do modelo está situada em Caraguatatuba (SP).

O roteiro metodológico proposto consiste em três etapas: inventário, análise de perigo e análise de risco, as quais permitem o emprego conjugado de técnicas de análise qualitativas e quantitativas e por aproximações sucessivas, baseadas na modelagem dos processos de instabilização e no entendimento de seus agentes e causas (fenomenologia dos processos). Como ferramenta básica para o registro das informações, análise e cartografia de risco utilizou-se o Sistema de Informações Geográficas (SIG).

A etapa de inventário envolveu a caraterização dos tipos de movimentos de massa mais importantes na área piloto, a formulação qualitativa dos modelos fenomenológicos de instabilização e das situações potenciais de perigo; e a preparação das bases topográficas (com a cartografia detalhada das edificações e de 34 cicatrizes de escorregamento) e dos mapas temáticos digitais (modelo digital de elevação, declividade, geológico-geotécnico e de uso e ocupação), a serem utilizados na etapa de análise de perigo.

A etapa de análise do perigo, de acordo com AUGUSTO FILHO (*op. cit.*) busca estabelecer uma relação quantitativa entre os fatores controladores da dinâmica dos movimentos gravitacionais de massa e detalha os modelos físicos e matemáticos de instabilização utilizados. Num primeiro momento, estas quantificações são realizadas através de métodos determinísticos de análise de estabilidade, para numa segunda fase, buscar-se estabelecer a distribuição espacial das probabilidades de deflagração destes processos.

A etapa de análise de risco envolve o cadastro detalhado das edificações (elementos em risco), com o objetivo de avaliar a vulnerabilidade e os danos econômicos e sociais associados às mesmas. Foram cartografadas 2.073 edificações na área piloto, abrangendo imóveis residenciais, comerciais e industriais.

A quantificação dos níveis de risco foi realizada de forma simplificada, considerando a mesma vulnerabilidade para todas as edificações. A magnitude dos danos foi expressa em termos das áreas das edificações (m^2) potencialmente afetáveis pelos escorregamentos. Os níveis de risco foram calculados pelo produto entre o máximo nível de

perigo de escorregamentos rasos de solo obtido na etapa de análise de perigo e as áreas das edificações potencialmente afetáveis por estes processos.

A Figura 2.1 representa os setores de encosta números 4, 5, e 7 nas cartas de suscetibilidade, perigo e risco (AUGUSTO FILHO, *op. cit*).

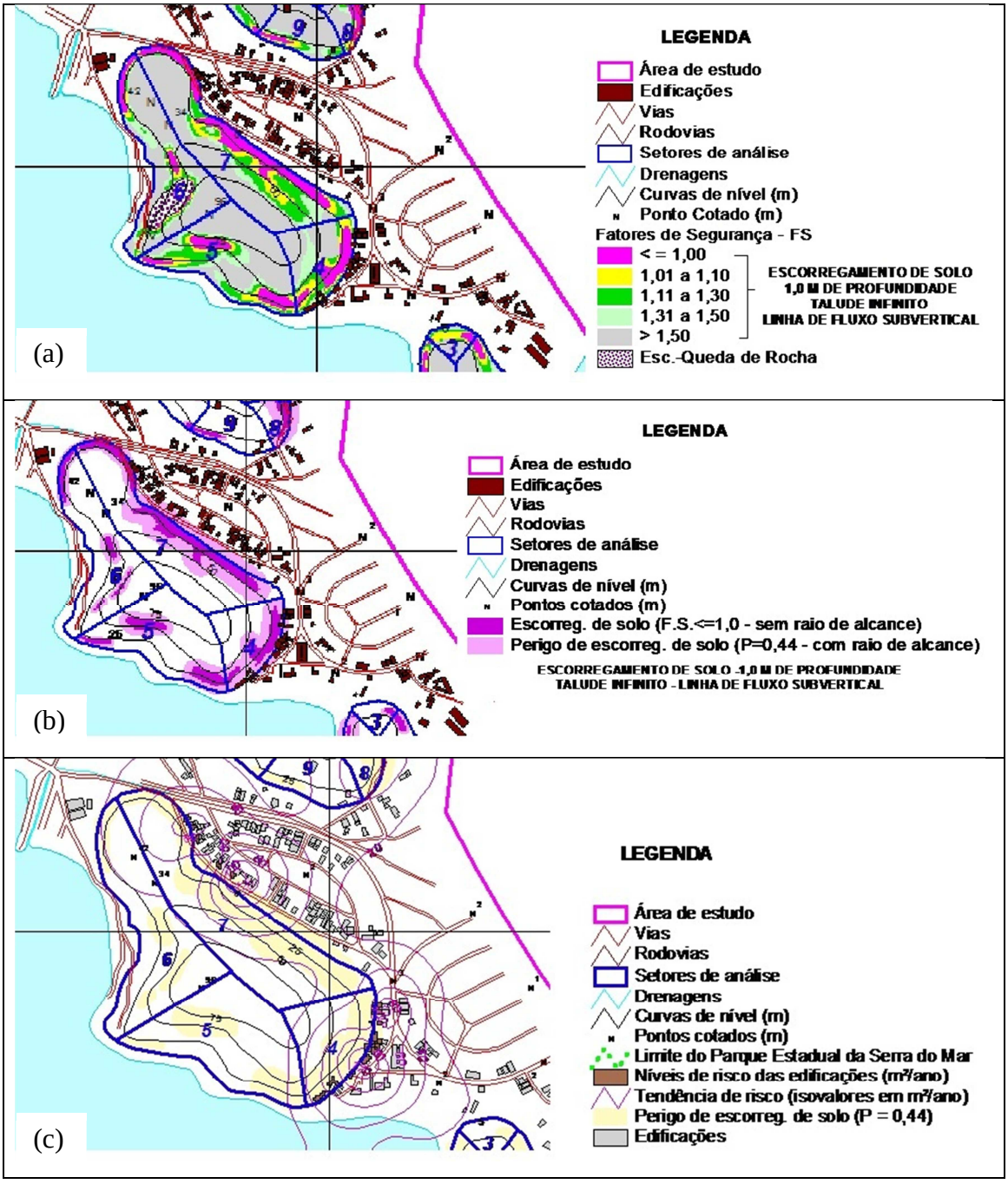

Figura 2.1 – Representação dos setores de encosta números 4, 5, 6 e 7 nas cartas: (a) de suscetibilidade (fase determinística); (b) de perigo (fase probabilística); (c) de risco (modificado de AUGUSTO FILHO, 2001).

2.3.1.3. Exemplo aplicado no Rio de Janeiro (RJ)

BRANDÃO DA SILVA & MENDONÇA (2006, 2007) descrevem o modelo adotado pela GEO-RIO (Fundação Instituto Geotécnica do Município do Rio de Janeiro) para obter o Índice Quantitativo de Risco (IQR). Esse índice indica a probabilidade de ocorrência de escorregamentos num determinado período de tempo, com perdas de vidas e é expresso pela equação (4):

$$\mathbf{IQR = P \,.\, C \,.\, F_i} \qquad (4)$$

Onde: P = probabilidade de ocorrência de um escorregamento com vítimas;

C = consequências referentes às perdas causadas pelo escorregamento;

F_i = fator de correção para as intervenções realizadas.

Para estimar probabilidade (P), partiu-se do histórico de ocorrências, da avaliação das condições geológicas locais, da probabilidade de ocorrência de um escorregamento com vítimas fatais e do número de moradias em risco para um mesmo evento. O valor atribuído às consequências (C) relaciona-se à perda de pelo menos uma vida e bens materiais, considerando os elementos em risco e o poder de destruição de um determinado processo.

O fator de correção para as intervenções realizadas (F_i) corrige eventuais distorções quando da comparação de áreas com e sem obras de contenção.

Sendo assim, o índice quantitativo de risco (IQR) exprime a probabilidade de ocorrência de um escorregamento em um ano, que possa provocar o óbito de pelo menos uma pessoa.

Segundo BRANDÃO DA SILVA & MENDONÇA (*op. cit.*), o IQR possibilita uma análise comparativa de diversas áreas, diminuindo acentuadamente a subjetividade na hierarquização e no gerenciamento do risco geológico. Quando combinado com a relação custo/benefício das medidas mitigadoras do risco, elimina a subjetividade na priorização da realização das intervenções pelo poder público nas áreas de risco.

2.3.1.4. Exemplo aplicado em Petrópolis (RJ)

VARANDA (2006) desenvolveu um mapa quantitativo de risco para o município de Petrópolis (RJ) aplicando análise estatística Bayesiana por meio de ferramenta SIG. A teoria bayesiana foi aplicada na integração de mapas temáticos digitais (vegetação,

geológico-geotécnico, drenagem natural e declividade), associando informações de inventários de escorregamentos com o objetivo de gerar o mapa de suscetibilidade (ou de perigo, conforme definição da autora).

A vulnerabilidade foi determinada com base em dois parâmetros: a) vulnerabilidade temporal – refere-se ao tempo de permanência dos indivíduos em residência, escola, indústria, comércio, prédio público e ao período do dia que os escorregamentos ocorreram com maior frequência e; b) padrão construtivo das habitações.

O mapa quantitativo de risco resultou da combinação dos mapas de suscetibilidade com as informações de vulnerabilidade.

Como validação do método quantitativo, a autora comparou os resultados obtidos nos mapas de suscetibilidade e risco de escorregamentos com as áreas de risco identificadas no "inventário de acidentes e situações de risco". Concluiu que os setores de risco muito alto e alto coincidiram com as áreas de risco conhecidas por meio do inventário.

VARANDA (*op. cit.*) aponta como desvantagens do método: a demanda de verificação em campo dos resultados dos mapas finais para ajustes do modelo e correção de possíveis distorções; e a necessidade de treinamento de profissionais para utilização do "*software*" empregado na manipulação do banco de dados georreferenciado.

2.3.2. Exemplos de mapeamento de risco de escorregamentos em encostas urbanas com abordagens qualitativas

Vários autores discutem as vantagens e desvantagens dos métodos quantitativos e qualitativos (ALEOTTI & CHOWDHURY, 1999; GLADE & CROZIER, 2005). LEROI (1996) defende que os critérios e regras adotadas na avaliação dos peritos (especialistas) nas análises qualitativas são específicos para cada perito, dificultando ou limitando uma nova análise dos resultados por outros especialistas. As regras adotadas são implícitas e não são aplicadas com o mesmo rigor em toda a área de estudo. Entretanto para ANDERSON *et. al*. (1996), a avaliação qualitativa do risco de escorregamentos com base em julgamentos de especialistas (probabilidade subjetiva), gera produtos confiáveis e pode ser utilizada como ferramenta racional nos processos que envolvem decisões. Entretanto, para ser válida tecnicamente, é essencial que a estimativa do risco seja realizada por profissionais (engenheiros e/ou geólogos) com experiência na avaliação dos processos de escorregamentos.

A seguir serão apresentados exemplos (aplicados em Cuba, Belo Horizonte, Salvador) de métodos qualitativos de análise de perigo e risco utilizando métodos multicritérios de análise de decisão como ferramenta de priorização de intervenções em áreas de risco ou como forma de diminuir a subjetividade na atribuição do grau de perigo e risco. Finalmente será apresentada a experiência em mapeamento realizada no município de São Paulo, a qual fundamentou a proposta de mapeamento adotada pelo Ministério das Cidades (descrita no item 3.3).

2.3.2.1. Exemplo aplicado em Cuba

CASTELLANOS ABELLA (2000, 2008); CASTELLANOS ABELLA & VAN WESTEN (2001, 2008) realizaram o mapeamento de risco de movimentos de massas e inundação do município de Santo Antonio do Sul, situado na região leste de Cuba, utilizando o método heurístico de análise de risco associado ao método multicritério de análise de decisão (MMAD) e a ferramenta de Sistema de Informação Geográfica. Este mapeamento foi realizado em escala 1:50.000, por meio de interpretação de fotos aéreas, imagens de satélite e investigações em campo. Foram identificados três processos de movimentos de massa: desplacamento em escarpas rochosas costeiras, corridas de detritos rasas e escorregamentos em taludes de rochas calcáreas. O método aplicado consistiu na atribuição de pesos com base em julgamentos de especialistas e foram organizados de acordo com os fatores condicionantes: geometria do talude, litologia, estruturas geológicas, subunidades geomorfológicas, presença de drenagem e feições de escorregamentos. Um modelo heurístico hierárquico foi aplicado a esses fatores, atribuindo três níveis de pesos. Em seguida os fatores foram divididos em classes, variáveis e critérios.

O método combinou todos os pesos em um valor de perigo para cada *"pixel"* do mapa de perigo. Esse mapa de perigo foi dividido em duas legendas: uma com três classes (baixo, médio e alto) para uso dos gerenciadores no planejamento urbano e outra escala com dez classes de perigo para ser utilizado por técnicos (de Defesa Civil). As dez classes foram diferenciadas com base nos valores finais de perigo e na densidade de escorregamentos (número de escorregamentos por área).

As informações das construções e infraestrutura foram adicionadas ao mapa de perigo, obtendo dessa forma, o mapa qualitativo de risco.

CASTELLANOS ABELLA & VAN WESTEN (*op. cit.*), citam que foi criado, recentemente no arquipélago de Cuba, um sistema nacional para gerenciamento de risco

associados a escorregamentos, incluindo a realização de um banco de dados sobre inventários de escorregamentos e procedimentos para a avaliação de risco nos diferentes níveis de gerenciamento (municipal, provincial e nacional). Pretende-se aplicar esse sistema nos 169 municípios que apresentam centros de Defesa Civil, em Cuba.

A atribuição de pesos aos critérios e variáveis de perigo (padronizados com valores de 0 a 1) foi realizada em três modos distintos:

- método direto – com base na experiência em campo e no julgamento de especialistas;
- comparação pareada por meio da matriz de decisão – cada variável ou critério é comparado com todos os outros, par a par, verificando o grau de importância de um relação ao outro;
- método baseado em ordem de classificação (“*ranqueamento*”) – onde os critérios e variáveis são de modo simples, classificados numa escala ordinal, de acordo com sua importância como fator condicionante dos escorregamentos.

Os pesos foram padronizados e tabulados por meio do programa *Microsoft Excel*. Em seguida os valores dos pesos foram ponderados de acordo com a contribuição de cada um deles em relação ao total.

Os três métodos de atribuição de pesos foram comparados, conforme a Tabela 2.4, apresentada a seguir.

Tabela 2.4 - Métodos de atribuição de pesos para critérios e variáveis (modificado de CASTELLANOS ABELLA, 2000, 2008; CASTELLANOS ABELLA & VAN WESTEN, 2001, 2008).

Componentes	Método Direto	Matriz Pareada	Método de ordem de classificação
Topografia	0,3	0,224	0,257
inclinação	0,7	0,7	0,7
amplitude	0,2	0,2	0,2
forma	0,1	0,1	0,1
Geologia	0,2	0,131	0,157
litologia	1	1	1
Tectônica	0,05	0,04	0,065
falhas ativas	1	1	1
Hidrogeologia	0,05	0,038	0,065
nascentes	0,5	0,5	0,5
densidade de drenagem	0,5	0,5	0,5
Geomorfologia	0,4	0,566	0,457
subunidades	0,4	0,4	0,4
zonas de escorregamentos	0,6	0,6	0,6
Total	1	0,999	1,001

A aplicação do método de comparação pareada obteve um valor de consistência de 0,08 (8%, ou seja, <10%), demonstrando que os valores atribuídos são suficientemente confiáveis. O cálculo do valor de consistência é explicado no item 2.4.1.2.

Segundo CASTELLANOS ABELLA (2000, 2008) e CASTELLANOS ABELLA & VAN WESTEN (2001, 2008), a Tabela 2 mostra que os resultados da comparação dos três métodos de atribuição de pesos são similares, optando assim, pela utilização dos dados obtidos no método direto.

Os autores afirmam que mesmo com poucos dados disponíveis, como, informações históricas de ocorrências de escorregamentos e dados geotécnicos, é possível desenvolver um mapeamento qualitativo de risco utilizando método multicritério de análise de decisão como forma de quantificar opiniões (julgamentos) subjetivas, contribuindo desse modo como suporte a gestão de risco.

2.3.2.2. Exemplo aplicado em Belo Horizonte (MG)

CARVALHO (1996) propôs um modelo de decisão ao gerenciamento de riscos geotécnicos em encostas urbanas e aplicou nas favelas do município de Belo Horizonte (MG). A metodologia foi desenvolvida com base na Análise de Decisão (Árvore de Decisão), utilizando a probabilidade subjetiva e consistiu num processo lógico de escolha da intervenção de segurança para cada setor de risco e na definição de uma ordem de prioridade entre os setores.

O método permite adequar o desenvolvimento do programa de gerenciamento de riscos aos recursos financeiros disponíveis.

A metodologia apresentou os seguintes aspectos principais:

- Caraterização dos setores em risco e das alternativas de intervenções (obras de estabilização, obras complementares, remoção, entre outras) com base em experiência de profissionais especialistas em Geotecnia;
- Hierarquização dos setores em risco sob o aspecto qualitativo;
- Escolha da alternativa de intervenção para cada setor e a hierarquização dos setores em termos de prioridade de intervenção, com base no critério de decisão.

  O autor adotou como critério de decisão a minimização do custo por vida salva, devido às consequências monetárias e sociais (HACHICH, 1988).

As alternativas de intervenção compreendem: a manutenção da situação existente; a implantação de uma obra de estabilização definitiva; a implantação de uma obra emergencial e a remoção das moradias do setor de risco.

- As probabilidades de ocorrência de eventos aleatórios, tratado sob a visão da probabilidade subjetiva, foram avaliadas a partir do julgamento de profissionais experientes em Geotecnia;
- O procedimento de aplicação do modelo de decisão compreendeu uma análise preliminar, onde foram atribuídos valores nominais às variáveis aleatórias e uma análise completa, na qual foi incorporado o julgamento do avaliador a respeito das incertezas envolvidas na estimativa dessas variáveis. A análise de sensibilidade permite avaliar o grau de influência das variáveis aleatórias sobre a decisão. Essa análise contribui para a redução no número de variáveis consideradas como aleatórias e o eventual descarte de alternativas menos eficientes, concentrando a análise nos aspectos mais relevantes da decisão.

  As variáveis aleatórias estão relacionadas: aos cadastros socioeconômicos sobre as moradias; ao custo das intervenções; ao número de moradias destruídas no caso da ocorrência dos eventos aleatórios (processos de instabilização, ruínas de obras) e às probabilidades de ocorrência dos eventos aleatórios.

Os resultados mostraram ser possível estabelecer uma política pública de gerenciamento de riscos geotécnicos em encostas urbanas baseada num processo sistemático de escolha e priorização de alternativas de intervenção.

Entretanto, a aplicação do modelo exige não só a avaliação de um conjunto extenso de variáveis, como também, a utilização, para essa avaliação, de métodos de quantificação do julgamento do avaliador que demandam desenvolvimento cuidadoso, envolvendo tempo e dedicação de profissionais especializados.

CARVALHO (*op. cit.*) descreve certa resistência inicial, por parte do avaliador (especialista geotécnico), em apresentar as informações relativas às variáveis “número de moradias destruídas” e as probabilidades de ocorrências dos eventos aleatórios. Para superar essa possível resistência e convencer o avaliador da importância dessas informações, o autor sugere que essas informações sejam obtidas no decorrer de um processo de entrevista conduzido pelo analista (pessoa encarregada de identificar desvios e inconsistências no julgamento do avaliador).

Há necessidade, portanto, de capacitação dos técnicos envolvidos na avaliação de risco, em análise probabilística, com especial ênfase na visão subjetiva da Teoria das Probabilidades.

2.3.2.3. Exemplo aplicado em Salvador (BA)

Em MATTOS *et. al*. (2005), o Plano Diretor de Encostas do município de Salvador (BA) foi realizado com base na aplicação da técnica do Processo de Análise Hierárquica (AHP), elaborado especificamente para subsidiar a escolha da melhor ação a ser adotada pela Prefeitura na priorização e realização das 433 intervenções (obras previamente definidas) nas áreas de risco.

O Plano Diretor de Encostas (PDE) foi realizado em quatro etapas subsequentes e interdependentes, denominadas de Módulos:

- Inventário - compreendeu o levantamento e cadastramento dos dados e informações disponíveis relacionados ao problema e inspeções de campo para a caracterização físico-ambiental e socioeconômica das áreas de risco
- Diagnóstico – análise e caracterização dos aspectos socioambientais da base de dados e informações do Módulo do Inventário;
- Prognóstico - foram estabelecidas as intervenções necessárias visando o controle do risco das áreas de ocupação precária;
- Plano de Ação - contempla os aspectos sistêmicos da parte gerencial do PDE, que implicam na definição das prioridades, no cronograma de implantação e na forma de atuação técnica e social da gestão pública durante o processo de implantação do Plano.

A elaboração do Sistema de Hierarquização do Plano de Ação foi compartimentada nas seguintes etapas (MATTOS, *et. al*., 2005):

- Definição dos especialistas - foram selecionadas instituições e profissionais que representam diversas áreas de atuação, tais como gestão pública, universidades e empresas de consultoria técnica, totalizando 9 consultores;
- Definição dos critérios de decisão – (i) técnico-ambientais representados pelo grau de risco; pela vulnerabilidade físico-ambiental (definida por meio de problemas

geotécnicos) e pela degradação físico-ambiental (definida por meio de problemas antrópicos); (ii) técnico-econômicos (valor do investimento necessário, custo social das intervenções e relevância das intervenções para o sistema viário); (iii) social e político, mede o grau de satisfação, percepção e consolidação da população moradora das áreas de risco (populações direta e indiretamente beneficiadas, qualidade de vida, atuação da administração municipal, situação de risco e tempo de moradia);

- Estruturação hierárquica do processo de análise - o problema foi representado segundo três níveis hierárquicos; nível I – objetivo: hierarquização das intervenções propostas no PDE; nível II – critérios de decisão (técnico-ambientais, técnico-econômicos e sócio-políticos) e nível III – alternativas de intervenções propostas no Módulo III (Prognóstico);

- Avaliação dos componentes do processo de análise – a avaliação das intervenções em relação aos critérios sócio-políticos foi realizada por meio de entrevistas com a população. Já os demais critérios foram avaliados pelos especialistas por meio de notas (0 a 10), cujo resultado final foi a média dos julgamentos para cada critério. Essas avaliações foram homogeneizadas e estruturadas na matriz de decisão onde os doze critérios foram comparados par a par, conforme representado na Figura 2.2. O vetor prioritário obtido, conforme o Método de Análise Hierárquica (AHP) indicou os pesos relativos, em ordem decrescente de importância, dos critérios de decisão no processo de hierarquização (indicado na Figura 2.2). Na análise de sensibilidade, a razão de consistência obtida foi 8,7%. Conforme observado anteriormente, o Método do Processo de Análise Hierárquica está explicado no item 2.4.1., na página 40.

- Priorização das Intervenções – as intervenções foram ordenadas conforme a nota final, obtida por meio da média ponderada dos pesos do vetor prioritário na matriz de decisão e o resultado final da nota atribuída pelos especialistas a cada critério de decisão.

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12
X1	1	3	4	5	5	3	5	6	6	7	7	6
X2	1/3	1	2	4	4	3	4	4	5	6	5	5
X3	1/4	1/2	1	4	3	2	3	4	4	5	4	4
X4	1/5	1/4	1/4	1	2	1	2	2	4	4	5	4
X5	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	2	3	4	5	5	4
X6	1/3	1/3	1/2	1	1/2	1	3	3	4	5	5	5
X7	1/5	1/4	1/3	1/2	1/2	1/3	1	4	3	5	4	4
X8	1/6	1/4	1/4	1/2	1/3	1/3	1/4	1	3	4	4	4
X9	1/6	1/5	1/4	1/4	1/4	1/4	1/3	1/3	1	4	3	3
X10	1/7	1/6	1/5	1/4	1/5	1/5	1/5	1/4	1/4	1	2	3
X11	1/7	1/5	1/4	1/5	1/5	1/5	1/4	1/4	1/3	1/2	1	2
X12	1/6	1/5	1/4	1/4	1/4	1/5	1/4	1/4	1/3	1/3	1/2	1

PESOS											
X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12
0,26	0,17	0,13	0,08	0,08	0,09	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02

	CRITÉRIOS DE DECISÃO
X1	grau de risco
X2	vulnerabilidade fisico-ambiental
X3	degradação fisico-ambiental
X4	custo da intervenção
X5	custo per capita
X6	relevância para o sistema de transporte urbano
X7	população diretamente beneficiada
X8	população indiretamente beneficiada
X9	qualidade de vida
X10	atuação de prefeitura
X11	situação de risco
X12	tempo de moradia

Figura 2.2 - Critérios e matriz de decisão com base no método AHP (modificado de MIRANDA, 2006).

A atribuição do grau de risco envolveu análises subjetivas e foi realizada com base em vistorias em campo, por meio do levantamento dos fatores condicionantes de escorregamentos de ordem natural e antrópica (topografia, tipos de solo, cobertura vegetal, presença de lixo/entulho, feições de movimentação do terreno) e das consequências ao elemento em risco (perdas econômicas e sociais).

A presença das feições de instabilidade e sua intensidade/persistência foram determinantes na classificação do grau de risco (MIRANDA, 2006). As feições de instabilidade compreendem: trincas em moradias; trincas no solo; infiltração de águas pluviais e servidas; árvores/postes/muros inclinados; e presença de cicatrizes de escorregamentos.

2.3.2.4. Experiência em São Paulo (SP)

Em 1989, a Prefeitura Municipal de São Paulo instituiu o “Plano de Ação para Favelas em Situação de Risco de Vida ou Emergência”, que consistiu no levantamento geológico-geotécnico em 128 favelas. As áreas de riscos associados a escorregamentos, quedas de blocos e rupturas de estruturas de arrimo em encostas, além de áreas com problemas de inundação e erosão foram identificadas, caracterizadas e hierarquizadas (CERRI & CARVALHO, 1990). Este Plano teve como objetivo estabelecer as ações necessárias para a minimização dos danos socioeconômicos à população.

O levantamento das áreas foi realizado por empresas geotécnicas e o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) estabeleceu os critérios, a metodologia de análise e a classificação do risco, assim como a homogeneização dos

resultados. Este levantamento foi realizado num curto espaço de tempo (45 dias), antes do início do período chuvoso (dezembro a março).

A metodologia consistiu em:

- Identificação das áreas de análise a partir de fotos aéreas de baixa altitude como forma de atualização da ocupação, fotos aéreas convencionais (escala 1:10.000) e plantas planialtimétricas (escalas 1:2.000 e 1:10.000);
- Levantamento de campo para: detalhamento da tipologia dos processos perigosos, identificação das feições de instabilidade (trincas, degraus de abatimento, inclinação de árvores/postes ou muros, feições erosivas e cicatrizes) e, classificação dos setores de risco;
- Delimitação dos setores nas fotos aéreas de baixa altitude;
- Identificação dos locais onde existia a possibilidade de realização de obras simples, rápidas e de baixo custo;
- Identificação de áreas estáveis, próximas à favela analisada, para possível relocação de moradias em risco;
- Elaboração de relatório.

A classificação dos riscos foi definida conforme a Tabela 2.5 apresentada a seguir.

Tabela 2.5 – Classificação de Riscos (modificada de CERRI & CARVALHO, 1990).

Zona	**Grau de Risco**	**Definição**
Encosta ou Baixada	Risco Imediato	Processo destrutivo em adiantado estágio de desenvolvimento, com possibilidade de destruição das moradias.
Encosta	1E	Probabilidade elevada de destruição de moradias por queda ou atingimento.
	2E	Probabilidade reduzida de destruição de moradias por queda ou atingimento.
	SR (sem risco)	Setor estável ou sujeito a movimentação eventual, sem possibilidade de destruição de moradias.
Baixada	1BA	Área frequentemente atingida por cheias com elevada probabilidade de destruição de moradias
	2BA	Área com pequena probabilidade de destruição de moradias por cheias.
	1BS	Probabilidade elevada de destruição de moradias por solapamento de margens de córregos ou da base de fundações.
	2BS	Probabilidade reduzida de destruição de moradias por solapamento de margens de córregos ou da base de fundações.
	SR (sem risco)	Área não atingida por enchentes, sem possibilidade de destruição de moradias.

Os autores ressaltam que existe subjetividade na diferenciação dos graus de risco, sendo assim a experiência e o conhecimento técnico aprofundado dos profissionais envolvidos, fatores determinantes na análise de risco.

Até o final de 1992 foram realizadas 91 obras orientadas por meio deste mapeamento, além de ser utilizado como referência em diversos estudos e relatórios realizados por geólogos da Prefeitura de São Paulo (SMSP, 2003).

Entre 1993 e 2000 as ações de controle e prevenção de risco foram pouco significativas, consequentemente, em algumas áreas as situações de risco se agravaram e em outras, surgiram novas situações (SMSP, 2003).

No final do ano de 2002 e início de 2003, profissionais da Universidade Estadual Paulista (UNESP – campus Rio Claro) e do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) realizaram o mapeamento de risco em 214 áreas de riscos associados a escorregamentos e inundações em assentamentos precários no município de São Paulo. O objetivo deste mapeamento foi subsidiar a Prefeitura Municipal na elaboração de planos e ações de prevenção, mitigação e controle dos riscos existentes (FUNDUNESP, 2003; CERRI *et. al.*, 2007).

2.3.2.5. Proposta de metodologia de mapeamento do Ministério das Cidades

Neste item, será apresentada a metodologia de mapeamento de risco utilizada como base nesta pesquisa, a qual é adotada pelo Ministério das Cidades na realização dos Planos Municipais de Redução de Riscos (PMRR).

Em 2003, com a criação do Ministério das Cidades, o Governo Federal instituiu no âmbito do Programa Urbanização, Regularização e Integração de Assentamentos Precários, a Ação de “Apoio à Prevenção e Erradicação de Riscos em Assentamentos Precários” com o objetivo de auxiliar a redução dos riscos nas áreas urbanas. Esta Ação compreende três etapas (CARVALHO & GALVÃO, 2006):

a) Treinamento de equipes municipais, com o objetivo de capacitar técnicos das prefeituras para a elaboração de diagnóstico, prevenção e gerenciamento de risco;
b) Apoio financeiro para elaboração, pelo município, do PMRR (Plano Municipal de Redução de Risco), que contempla: o diagnóstico de risco (mapeamento); as medidas de segurança necessárias para controle e redução dos riscos identificados; a estimativa de recursos a serem implantados nas intervenções necessárias para a

redução e controle dos riscos; o estabelecimento de prioridades e; a compatibilização com os programas de urbanização de favelas e regularização fundiária;

c) Apoio financeiro para elaboração de projetos de contenção de em encostas em áreas de risco consideradas prioritárias no PMRR.

O Ministério das Cidades adotou como modelo para a elaboração do PMRR, a metodologia de mapeamento de risco utilizada em 2002/2003 no município de São Paulo (FUNDUNESP, 2003; CERRI *et. al.*, 2007) aplicada aos processos associados a escorregamentos e inundações resumindo-se nas seguintes etapas (CERRI, 2006):

- Definição de quais processos destrutivos (processos perigosos) serão objetos do mapeamento de risco;
- Realização de trabalhos de campo, por meio de investigações geológico-geotécnicas de superfície, visando identificar condicionantes dos processos de instabilização, evidências (feições) de instabilidade e indícios (sinais) do desenvolvimento de processos destrutivos. As Tabelas 2.6 e 2.7 são exemplos, respectivamente, de listagens para controle de observações em campo dos processos perigosos, e dos critérios de caracterização das ocupações;
- Registro dos resultados das investigações geológico-geotécnicas e das interpretações em fichas de campo específicas, apresentadas nas Figuras 2.3 e 2.4;
- Delimitação dos setores de risco e, com base no julgamento dos profissionais responsáveis pelo mapeamento de risco, atribuir, para cada setor, um grau de probabilidade de ocorrência do processo destrutivo em questão, considerando o período de 1 ano, com base nos critérios descritos na Tabela 2.8;
- Representação dos setores de risco identificados em mapas georreferenciados, cópias de fotografias aéreas ou fotografias oblíquas, numerando cada setor;
- Estimativa das consequências potenciais do processo destrutivo por meio da avaliação das possíveis formas de seu desenvolvimento; definição e registro do número de moradias ameaçadas (total ou parcialmente) em cada setor de risco; e indicação da(s) alternativa(s) de intervenção adequada(s) para cada setor de risco, sendo registradas nas fichas de campo (Figura 2.4).

Tabela 2.6 – Listagem de controle para diagnóstico de setores de risco e para descrição dos processos destrutivos (modificado de CERRI, 2006).

CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL Talude natural/corte Altura do Talude Aterro compactado/lançado Distância da moradia Declividade Estruturas em solo/rocha desfavoráveis Presença de blocos de rocha/matacões/paredões rochosos Presença de lixo/entulho Aterro em anfiteatro Ocupação de cabeceira de drenagem	**EVIDÊNCIAS DE MOVIMENTAÇÃO** Trincas em moradia/aterro Inclinação de árvores/postes Degraus de abatimento Cicatrizes de escorregamentos Feições erosivas Muros/paredes “embarrigados” **ÁGUA** Concentração de água de chuva em superfície Lançamento de água servida em superfície Presença de fossas/rede de esgoto/rede de água Surgências d’água Vazamentos
VEGETAÇÃO NO TALUDE OU PROXIMIDADES Presença de árvores Vegetação rasteira Área desmatada Área de cultivo	**MARGENS DE CÓRREGO** Tipo de canal (natural/sinuoso/retificado) Distância da margem Altura do talude marginal Altura de cheias Trincas na superfície do terreno

Tabela 2.7 – Critérios para caracterizar a densidade da ocupação e a infraestrutura implantada (modificado de CERRI, 2006).

CATEGORIA DA OCUPAÇÃO	CARACTERÍSTICAS
Área consolidada	Áreas densamente ocupadas com infraestrutura básica.
Área parcialmente consolidada	Áreas em processo de ocupação adjacentes a áreas de ocupação consolidada. Densidade da ocupação variando entre 30 e 90%. Razoável infraestrutura básica.
Área parcelada	Áreas de expansão, periféricas e distantes do núcleo urbanizado. Baixa densidade de ocupação (até 30%). Desprovidas de infraestrutura básica.
Área mista	Nestes casos, caracterizar a área quanto a densidade de ocupação e quanto a implantação de infraestrutura básica.

MAPEAMENTO DE RISCO - FICHA DE SETOR

☒ Encosta ☐ Margem de Córrego
Subprefeitura: Pirituba – Jaraguá **Área Nº**: 08 – Favela Marilac **Setor:** S3
Equipe **Data:** 03/02/2003
Foto de Helicóptero: FH_PJ_08_03

Diagnóstico do setor (condicionantes e indicadores do processo de instabilização):

Presença de matacões métricos
Taludes verticais de 12 a 15 m de altura
Vestígios de fragmentos de desmonte de matacões
Vegetação inexpressiva
Feições erosivas nas bases das moradias
Lançamento de água servida e esgoto
Presença de lona plástica protegendo os taludes
Algumas casas já estão interditadas pela prefeitura

Descrição do Processo de Instabilização: (escorregamento de solo / rocha / aterro; naturais / induzidos; materiais mobilizados; solapamento; ação direta da água, etc.):

Escorregamento superficial de solo
Tombamento de solo
Rolamento de blocos e matacões

Observações (incluindo descrição de fotos obtidas no local):

Foto: FC_PJ_08_03 – Vista do Setor 3

Grau de Probabilidade: Alto

Figura 2.3 - Ficha do setor de risco utilizada no mapeamento de encostas no município de São Paulo, representado a área n° 08 - Favela Marilac (CERRI *et. al*., 2007).

MAPEAMENTO DE RISCO - FICHA GERAL DE CAMPO

Subprefeitura: Pirituba – Jaraguá **Área nº**: 08 – Favela Marilac
Equipe: **Data:** 03/02/2003
Localização da Área: Rua Marilac com Av. Raimundo Pereira de Magalhães
Referência de Localização (Guia Mapograf, 2002): 34 O 7
Identificação (ou nº) da Foto Aérea: FX 77 – Foto 03 – Base S.A. / 2000
Leitura com GPS: E 324.260 N 7.404.102 (Setor 1)
E 324.253 N 7.404.236 (Setor 2)
E 324.289 N 7.404.352 (Setor 3)
E 324.226 N 7.404.394 (Setor 4)
Fotos de Helicóptero: FH_PJ_08_01 a FH_PJ_08_05

Caracterização da Ocupação (padrão, tipologia das edificações, infra-estrutura):
Área parcialmente consolidada
Caracterização Geológica:
Granito e xisto
Caracterização Geomorfológica:
Morrote com declividade acima de 30%

Setor nº	Grau de probabilidade	Nº de moradias ameaçadas	Alternativa de intervenção
S1	Muito Alto	3 (parcialmente ameaçadas) A via de circulação também pode ser afetada	Serviços de limpeza e recuperação Obras de drenagem superficial e proteção vegetal Estrutura de contenção de médio a grande porte
S2	Alto	1 (parcialmente ameaçada) A via de circulação também pode ser afetada	Serviços de limpeza e recuperação Obras de drenagem superficial e proteção vegetal Desmonte de blocos e matacões
S3	Alto	6 (das quais 5 estão parcialmente ameaçadas) A via de circulação também pode ser afetada	Serviços de limpeza e recuperação Obras de drenagem superficial e proteção vegetal Desmonte de blocos e matacões
S4	Muito Alto	A via de circulação pode ser afetada	Obras de terraplenagem de médio a grande porte Desmonte de blocos e matacões

Figura 2.4 - Ficha geral de risco utilizada no mapeamento de encostas no município de São Paulo, representado a área n° 08 - Favela Marilac (CERRI *et. al*., 2007).

Tabela 2.8 - Graus de risco considerados na setorização (modificado de CANIL *et al.* 2004; CERRI *et al.* 2004a; MACEDO *et al.* 2004a; CERRI, 2006; CERRI *et al*., 2007).

RISCO	DESCRIÇÃO
R1 Baixo	Os condicionantes geológicos- geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc) e o nível de intervenção no setor são de baixa potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos, solapamentos e inundações. Não há indícios de desenvolvimento de processos de instabilização de encostas, de margens e de inundação. Os registros de eventos se ocorreram são raros. É a condição menos crítica. Mantidas as condições existentes, são muitos reduzidas as possibilidades de ocorrência de eventos destrutivos no período de 1 ano.
R2 Médio	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de média potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos, solapamentos e inundações. Observa-se a presença de algumas evidências de instabilidade (encostas e margens de drenagens), porém incipientes. Processo de instabilização em estágio inicial de desenvolvimento. Os registros de eventos nos últimos anos são mais comuns. Mantidas as condições existentes, são médias as possibilidades de ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de 1 ano.
R3 Alto	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos, solapamentos e inundações. Observa-se a presença de significativas evidências de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, marcas de água em paredes e muros, erosão das margens dos cursos d'água, etc.) Processo de instabilização em pleno desenvolvimento, ainda sendo possível monitorar a evolução do processo. Mantidas as condições existentes, é perfeitamente possível a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de 1 ano.
R4 Muito Alto	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de muito alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos, solapamentos e inundações. As evidências de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, trincas em moradias ou em muros de contenção, árvores ou postes inclinados, cicatrizes de escorregamento, feições erosivas, proximidade da moradia em relação à margem de córregos, marcas de água em paredes e muros, etc) são expressivas e estão presentes em grande número ou magnitude. Processo de instabilização em avançado estágio de desenvolvimento. É a condição mais crítica, necessitando de intervenção imediata devido ao seu elevado estágio de desenvolvimento. Mantidas as condições existentes, é muito provável a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de 1 ano.

Conforme MACEDO (2001) e BRASIL (2004, 2007), a chave para a classificação do risco é a presença de feições de instabilidade (indícios de movimentação).

As feições de instabilidade principais se referem às juntas de alívio, fendas de tração, fraturas de alívio, trincas e os degraus de abatimento. Segundo MACEDO (2001) e BRASIL (2004, 2007), as trincas podem ocorrer tanto no terreno como nas estruturas (moradias e obras de contenção). Estas duas feições (trincas e degraus de abatimento) podem ser monitoradas por meio de sistemas muito simples (medidas com régua, selo de gesso) ou muito complexos (medidas eletrônicas).

Outras feições importantes são: a inclinação de estruturas ou elementos rígidos como árvores, postes e muros e; o "embarrigamento" de muros e paredes.

A metodologia de mapeamento de risco adotada pelo Ministério das Cidades na realização dos Planos Municipais de Redução de Riscos (PMRR) foi aplicada em 30 municípios do Brasil, incluindo vários estados como: São Paulo; Minas Gerais; Espírito Santo; Pernambuco; Alagoas e Rio de Janeiro.

No estado de São Paulo, o Instituto Geológico- Secretaria do Meio Ambiente (IG-SMA) e o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) por meio de termos de cooperação técnica com a Coordenadoria Estadual de Defesa Civil da Casa Militar (CEDEC-SP), realizaram o mapeamento, com a aplicação da metodologia adotada pelo Ministério das Cidades, em diversos municípios do estado. O IG-SMA e o IPT desde 2004 até 2008 mapearam 31 e 47 municípios, respectivamente (SMA, 2009). Existe previsão de mapeamento de mais 14 municípios pelo IG-SMA, em 2010 e 2011.

Esta metodologia de mapeamento tem como principal objetivo, fornecer subsídios à Defesa Civil e às prefeituras municipais na identificação e gerenciamento das situações de risco relacionadas a escorregamentos e inundações em áreas urbanas. Está sendo bastante aplicada no Brasil, pois utiliza um procedimento de avaliação qualitativa conjugado com observações de campo, de forma a permitir uma rápida implementação de ações de prevenção e mitigação em áreas prioritárias.

Segundo CERRI *et. al*. (2007), mesmo reconhecendo-se as eventuais limitações, imprecisões e incertezas inerentes à análise qualitativa de riscos, os resultados da aplicação dessa metodologia de mapeamento são decisivos para a eficácia e eficiência de uma política de intervenções voltada à consolidação da ocupação.

Portanto, a presente pesquisa vem contribuir no aprimoramento desta metodologia de forma a minimizar as imprecisões e incertezas, ou seja, a subjetividade empregada nas análises do perigo e do risco.

2.4. Métodos Multicritérios de Apoio a Decisão (MMAD)

Os Métodos Multicritérios de Apoio à Decisão (MMAD) surgiram na área da Pesquisa Operacional e consistem em um conjunto de técnicas para auxiliar ou apoiar pessoas e organizações a tomarem decisões, sob a influência de diversos critérios simultaneamente. A aplicação de qualquer método multicritério pressupõe a necessidade de especificação dos objetivos pretendidos pelo decisor, quando da comparação das diversas alternativas à solução do problema (BANA E COSTA, 2002, *apud* ALVES, 2009).

O emprego do MMAD permite a formulação matemática do modelo representativo do problema de decisão, fornecendo a base matemática para o cálculo e a ponderação das características modeladas às necessidades do usuário (GOMES *et. al.*, 2002).

Decidir é posicionar-se em relação ao futuro. GOMES *et. al.* (2002) definem decisão como "o processo de colher informações, atribuir importância a elas, posteriormente buscar possíveis alternativas de solução e, depois, realizar a escolha entre alternativas".

Os Métodos Multicritérios de Apoio a Decisão (MMAD) compreendem técnicas que podem ser utilizadas para: (a) identificar a melhor opção de escolha; (b) ordenar as opções; (c) listar um número limitado de alternativas para uma subsequente avaliação detalhada, ou; (d) simplesmente distinguir as possibilidades aceitáveis das inaceitáveis (DODGSON *et al.*, 2001).

De acordo com SALOMON *et. al*. (1999) existem vários Métodos Multicritérios de Apoio a Decisão (MMAD). Alguns fornecem apenas a ordenação das alternativas, como por exemplo, o método ELECTRE (*Elimination and Choice Translating Reality*); enquanto que outros métodos apresentam, além da ordenação, o desempenho global das alternativas em função da totalidade dos critérios considerados (como por exemplo, o AHP).

Dentre os métodos que fornecem valores de desempenho global das alternativas, já utilizados com sucesso em diversos estudos, destacam-se (SALOMON *et. al*, 1999; ABREU *et al*., 2000):

- O Método de Análise do Processo Hierárquico (AHP), proposto em SAATY (1977);
- Método de Análise em Redes (ANP – *Analytic Network Process*), também desenvolvido em SAATY (1996);
- Abordagem de Decisão Fuzzy (FDA – *Fuzzy Decision Approach*) proposta em LIANG & WANG (1991);
- MACBETH (*Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*) proposto por BANA E COSTA & VASNICK (1994);
- TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*), proposto por HWANG & YOON (1981);
- MAHP (*Multiplicative* AHP*)*, proposto por LOOTSMA (1993 *apud* GUGLIELMETTI *et. al*., 2003).

GUGLIELMETTI *et. al*. (2003) realizaram comparações teóricas entre três Métodos Multicritérios de Apoio a Decisão (MMAD), de acordo com uma série de características

relacionadas ao uso e desempenho destes métodos. Os três métodos clássicos estudados foram: AHP, ELECTRE e MAHP. Na Tabela 2.9 são indicadas as características de uso e desempenho dos métodos.

Tabela 2.9– Comparação teórica entre três Métodos Multicritérios de Apoio a Decisão (modificado de GUGLIELMETTI *et. al.*, 2003).

CARACTERÍSTICAS DE USO E DESEMPENHO	AHP	MAHP	ELECTRE
Entrada de dados (*input*)			
Utilização em decisões com vários níveis	Sim	Sim	Não
Restrições quanto à quantidade de elementos em um nível	Sim	Não	Não
Quantidade de julgamentos em problemas com muitos critérios e alternativas	Alta	Média a alta	Baixa
Necessidade de processar os dados antes da sua utilização	Não	Sim	Sim
Possibilidade de tratar dados quantitativos e qualitativos	Sim	Sim	Sim
Possibilidade de lidar com problemas do tipo técnico	Sim	Sim	Sim
Possibilidade de tratar critérios e alternativas dependentes	Não	Não	Não
Possibilidade de criar as escalas de julgamento de acordo com o contexto	Não	Sim	Não
Saída de dados (*output*)			
Problemas com alocação em conjuntos	Não	Não	Não
Problemas com avaliação de desempenho	Sim	Sim	Não
Problemas com avaliação de desempenho em classes	Não	Não	Não
"*Ranking*" completo de alternativas	Sim	Sim	Não
Soluções muito refinadas	Sim	Sim	Não
Somente eliminação de algumas alternativas	Não	Não	Sim
Permite a avaliação de coerência dos julgamentos	Sim	Não	Não
Interface tomador de decisão *versus* método			
Disponibilidade de "*software*" para "*download*" gratuito	Sim	Não	Não
Necessidade de um especialista no método utilizado	Média	Alta	Média
Utilização de decisões em grupo	Sim	Sim	Não
Permissão para participação de mais de uma pessoa na decisão	Sim	Sim	Sim
Facilidade para estruturar o problema	Alta	Média	*
Possibilita o aprendizado sobre a estrutura do problema	Sim	Sim	*
Nível de compreensão conceitual e detalhado do modelo e algorítmo	Alto	Médio	Baixo
Nível de compreensão referente à forma de trabalho	Alto	Alto	Baixo
Transparência no processamento e nos resultados	Alta	Baixa	Média
Quantidade de aplicações práticas	Alta	Baixa	Baixa
Número de publicações científicas	Alta	Baixa	Média

* Não há estudos que tratam especificamente do assunto

Observa-se nesta tabela, que o Método AHP apresenta várias características interessantes para o desenvolvimento da presente pesquisa, tais como:

- Quantidade de julgamentos em análises com muitos critérios e alternativas;
- Possiblidade de tratar dados qualitativos e quantitativos;
- “ Ranking” completo das alternativas;
- Soluções muito refinadas;
- Permite a avaliação da coerência dos julgamentos;
- Facilidade para estruturar o problema;
- Nível alto de compreensão conceitual;
- Nível alto de compreensão referente à forma de trabalho;
- Transparência no processamento das análises e dos resultados e;
- Alta quantidade de aplicações práticas.

Reforçando as características apresentadas na Tabela 9, de acordo com BARBAROSOGLU & PINHAS (1995), o método AHP é aplicado para sistematizar uma ampla gama de problemas de decisão nos contextos econômico, político, social e ambiental, devido a sua simplicidade, sólida base matemática e capacidade para avaliar fatores qualitativos e quantitativos, sejam eles tangíveis ou intangíveis (SHIAU *et al*., 2002). É um dos métodos mais conhecidos e utilizados mundialmente (JANSEN *et. al*., 2004).

O método AHP baseia-se na capacidade humana de usar a informação e a experiência para estimar magnitudes relativas através de comparações par a par (TOMA & ASHARIF, 2003; VILAS BOAS, 2005). Seu uso é indicado para problemas que envolvem a priorização de soluções potenciais por meio da avaliação de um conjunto de critérios (ASAHI *et. al*., 1994; FINNIE & WITTIG, 1999; KIM, 1999). Tem como princípio que, para a tomada de decisões, a experiência e o conhecimento das pessoas são pelo menos tão valiosos, quanto os dados utilizados (SCHIMIDT, 1995).

Diante da variedade de métodos multicritérios de apoio a decisão existentes e da multiplicidade de características inerentes a cada um, torna-se imprescindível selecionar aquele que melhor se adeque a esta pesquisa. Portanto, o MMAD utilizado na presente pesquisa é o Processo de Análise Hierárquica (Método AHP – *Analytic Hierarchy Process*), descrito em detalhe no próximo item.

2.4.1. O Método de Processo de Análise Hierárquica (AHP)

A aplicação do método AHP pode ser dividida em duas fases: estruturação e avaliação (VARGAS, 1990; ABREU *et. al*., 2000). A primeira envolve a decomposição do problema em uma estrutura hierárquica que mostra as relações entre as metas, os critérios e as alternativas que envolvem a decisão (Figura 2.5). A estrutura hierárquica forma uma árvore invertida, cuja estrutura vai descendo da meta (objetivo) da decisão para os critérios, subcritérios e alternativas, em sucessivos níveis (SAATY, 1990).

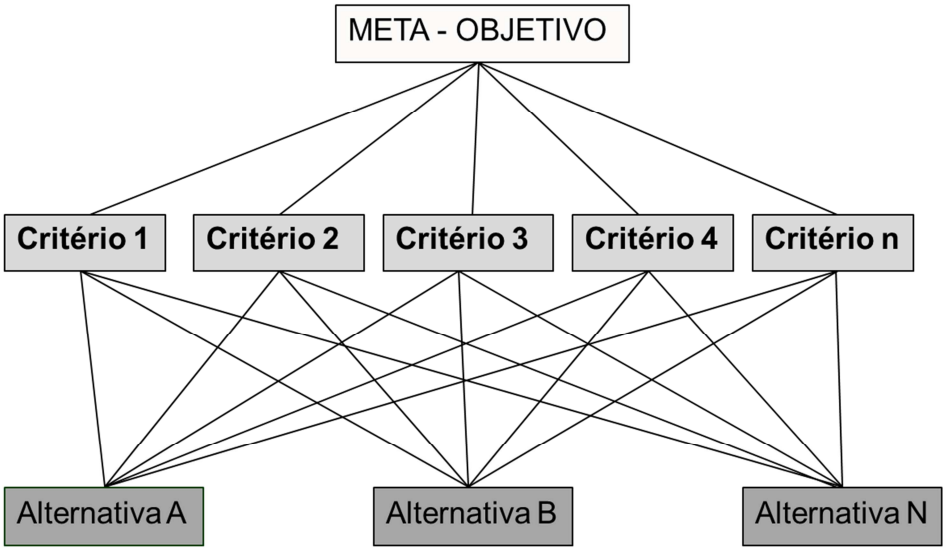

Figura 2.5 – Exemplo de estrutura hierárquica (modificado de SAATY,1990).

A segunda fase é caracterizada pela definição do tipo de problema a ser adotado, determinando se as ações serão: a) analisadas em termos relativos ou absolutos; b) ordenadas ou escolhidas; c) aceitas ou rejeitadas (BANA E COSTA, 1993; SCHIMIDT, 1995). Nesta etapa de avaliação ocorre a comparação paritária (par a par) entre os critérios e alternativas, se houver. Por meio desta comparação são determinadas as importâncias relativas (pesos) de cada critério.

Finalmente, a fase de avaliação prossegue com a valoração global de cada um das alternativas analisadas (descrita no item **2.4.1.3**. deste Capítulo).

2.4.1.1. Julgamentos paritários

Os critérios são comparados segundo a escala de julgamentos, também denominada de Escala Fundamental de Saaty, cuja quantificação dos julgamentos é realizada por meio

de uma escala de valores que varia de 1 a 9, como indica a Tabela 2.10 (BORITZ, 1992; SCHIMIDT, 1995).

Tabela 2.10 – Escala de julgamento de importância do Método AHP (modificada de SAATY, 1990).

Valores numéricos	Termos verbais	Explicação
1	Igual importância	Duas alternativas contribuem igualmente para o objetivo.
3	Moderadamente mais importante	Experiência e julgamento favorecem levemente uma alternativa em relação a outra.
5	Fortemente mais importante	Experiência e julgamento favorecem fortemente uma alternativa em relação a outra.
7	Muito fortemente mais importante	Alternativa fortemente favorecida em relação a outra e sua dominância é demonstrada na prática.
9	Extremamente mais importante	A evidência favorece uma alternativa em relação a outra, com grau de certeza mais elevado.
2, 4, 6 e 8	Valores importantes intermediários	Quando se procura uma condição intermediária entre duas definições.

SAATY realizou experiências com várias escalas (3, 5, 7, 9, 20), e concluiu que a escala de nove valores fornece flexibilidade suficiente para diferenciar dois elementos. Embora, o autor do método não impeça a utilização de outras escalas de julgamento (SCHIMIDT, 1995).

TEKNOMO (2006) explicando, de forma didática, a comparação par a par mostrou um exemplo com três tipos de frutas: banana, maçã e cereja. Na Figura 2.6 são apresentados os três tipos de comparações, por meio de julgamentos subjetivos, resultando numa matriz 3 por 3. Comparando-se a maçã com a banana, conforme a escala de julgamentos, existe uma preferência moderada pela banana em relação a maçã. Assim como, existe uma forte preferência pela maçã em relação a cereja e do mesmo modo, existe um preferência muito fortemente pela banana em relação a cereja.

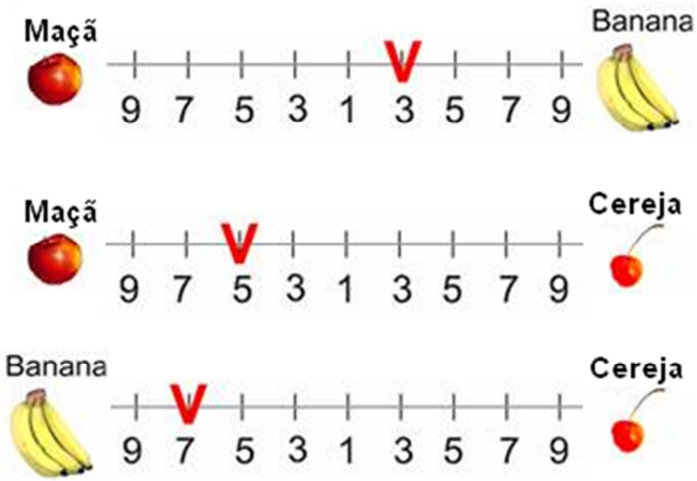

Figura 2.6 – Exemplo de comparação par a par (modificado de TEKMONO, 2006).

Na estruturação da matriz de comparação, se o valor do julgamento na escala está situado à esquerda do número 1, insere-se o "valor atual"; senão, insere-se o valor recíproco, conforme a forma matricial apresentada na Figura 2.7, a seguir:

	Maçã	Banana	Cereja
Maçã	1	1/3	5
Banana	3	1	7
Cereja	1/5	1/7	1

= Matriz A_{3x3}

Figura 2.7 – Representação da matriz de comparação dos julgamentos apresentados na Figura 2.6.

Portanto, na comparação par a par os pesos dos critérios são definidos conforme o julgamento do decisor e com base na escala fundamental de SAATY.

A equação 4 mostra a forma de estruturação da matriz de decisão, conforme propõe o método AHP.

$$A_{nxn} = \begin{vmatrix} \mathbf{1} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} = 1/a_{12} & \mathbf{1} & \dots & a_{2n} \\ : & : & \dots & : \\ a_{n1} = 1/a_{1n} & a_{n2} = 1/a_{2n} & \dots & \mathbf{1} \end{vmatrix} \qquad (4)$$

Os elementos da matriz de comparação paritária devem ser positivos, ou seja, $a_{ij} > 0$, indicando o julgamento da linha *i* e da coluna *j*. A matriz de comparação deve atender as três propriedades (SAATY, 1999) descritas a seguir:

- *Identidade*: todos os elementos na diagonal são iguais a 1, ou seja, para todo *i*, é necessário que $a_{ii} = 1$. Portanto, a diagonal representa cada elemento comparado a si mesmo, ou seja, de igual importância;
- *Reciprocidade*: cada elemento acima da diagonal da matriz de comparação paritária é igual ao inverso do elemento correspondente, situado abaixo da diagonal, isto é, $a_{ij} = 1/ a_{ji}$;
- *Consistência ou coerência*: a matriz de comparações paritárias deve satisfazer a propriedade de transitividade. Significa que na comparação de três critérios: se *A* é preferível a *B* e *B* é preferível a *C*; consequentemente *A* é preferível a *C*. Se o julgamento for diferente, ou seja, *C* é preferível a *A* ou *C* é igual a *A*, o decisor foi incoerente. Logo, a consistência ou coerência está relacionada com a racionalidade do julgamento.

Voltando ao exemplo de TEKNOMO (2006), tem-se que: a banana foi julgada três vezes mais importante que a maçã e; a maçã foi julgada cinco vezes mais importante que a cereja, portanto, a banana é preferível a cereja. No exemplo, a banana foi julgada sete vezes mais importante que a cereja.

Segundo a transitividade, as colunas da matriz de comparações paritárias são múltiplos escalares entre si, de forma que as colunas normalizadas (onde cada célula é dividida pela soma da coluna) são idênticas, e qualquer uma delas pode representar os valores relativos das alternativas. Isto ocorre quando se tem transitividade cardinal perfeita, ou seja, as comparações realizadas são perfeitamente consistentes (SILVA, 2003 *apud* LOZANO, 2006). Porém, de acordo com MORITA (1998), isto não ocorre normalmente na prática, sendo necessário utilizar o método do autovalor, descrito no item 2.4.1.2. (na página 45), na análise da consistência dos julgamentos.

Em seguida, a matriz de comparação paritária é submetida a uma técnica matemática denominada "*autovetor*".

A forma, recomendada por SAATY (1990), para realizar o cálculo do autovetor consiste em elevar a matriz a potências arbitrariamente altas, dividindo-se a soma de cada linha pela soma dos elementos da matriz, ou seja, normalizando os resultados.

Considerando-se o exemplo de TEKNOMO (2006), o cálculo do autovetor ocorre conforme as três etapas a seguir:

a) Soma total dos elementos de cada coluna da matriz de comparação paritária transformada conforme apresentado na Figura 2.8;

Critérios	**Maçã**	**Banana**	**Cereja**
Maçã	**1**	1/3	5
Banana	3	**1**	7
Cereja	1/5	1/7	**1**
Soma	**21/5**	**31/21**	**13**

Figura 2.8 - Exemplo de matriz de comparação transformada (modificada de TEKNOMO, 2006).

b) A normalização relativa dos pesos ocorre por meio da divisão de cada elemento da matriz pela soma total da respectiva coluna, resultando na soma igual a unidade, conforme mostra a Figura 2.9;

Critérios	**Maçã**	**Banana**	**Cereja**
Maçã	5/21	7/31	5/13
Banana	15/21	21/31	7/13
Cereja	1/21	3/31	1/13
Soma	**1**	**1**	**1**

Figura 2.9 - Exemplo de matriz de comparação normalizada (modificada de TEKNOMO, 2006).

c) Cálculo da média aritmética de cada linha da matriz, gerando o "*autovetor*" ou "*vetor de prioridades*", conforme a Figura 2.10.

Critérios	**Maçã**	**Banana**	**Cereja**	**Soma das linhas**	**Autovetor (%)**
Maçã	5/21	7/31	5/13	0,8485	28,28
Banana	15/21	21/31	7/13	1,9302	64,34
Cereja	1/21	3/31	1/13	0,2213	7,38
Soma das colunas	**1**	**1**	**1**	**3,0000**	**100**

Figura 2.10 - Autovetor normalizado (modificada de TEKNOMO, 2006).

Portanto, no exemplo de TEKNOMO (*op. cit.*) o autovetor ou vetor de prioridades, mostra os pesos relativos de importância na comparação entre as frutas, indicando que a banana tem importância de 64,34%, a maçã 28,33% e a cereja 7,38%. O autovetor, por conseguinte, fornece a hierarquia ou ordem de prioridade dos critérios comparados.

O próximo passo é determinar a consistência ou coerência dos julgamentos.

2.4.1.2. Análise da consistência dos julgamentos

A integridade, qualidade ou coerência dos julgamentos é realizada por meio do cálculo do "autovalor". Essa análise também é denominada de "*análise de sensibilidade*" e indica se os julgamentos estão logicamente relacionados (PAMPLONA, 1999).

Para a realização da análise de sensibilidade, SAATY (1990) propôs o seguinte procedimento:

a) Estima-se inicialmente o "*autovalor máximo*" ($\lambda_{máx}$). A consistência de uma matriz positiva recíproca requer que o autovalor máximo ($\lambda_{máx}$) seja igual ao número de linhas (ou colunas) da matriz de comparações paritárias *n* (número que representa a ordem da matriz). Quanto mais próximo $\lambda_{máx}$ for de *n*, mais consistente será o resultado. O autovalor é calculado por meio da equação (5);

$$\lambda_{máx} = T.\ w \qquad (5)$$

Onde: T é o autovetor normalizado e;

w corresponde à soma das colunas da matriz de comparações para cada critério.

Voltando novamente ao exemplo de TEKNOMO (2006), observando-se os valores das somas das colunas para cada critério mostrados na Figura 2.8 e o resultado do autovetor na Figura 2.10, obtém-se o autovalor ($\lambda_{máx}$), indicado a seguir, de acordo com a equação (5):

$$\lambda_{máx} = \frac{21}{5}\,(0{,}2833) + \frac{31}{21}(0{,}6434) + 13(0{,}0738) = 3{,}099 \qquad (6)$$

Observa-se que o valor de $\lambda_{máx}$ = 3,099, está próximo do número da ordem da matriz de comparações paritárias (*n* = 3) no exemplo das frutas.

b) Calcula-se o "*índice de consistência*" (IC). O índice de consistência de uma matriz de comparações paritárias indica quanto o autovalor está afastado do valor teórico esperado *n*, logo esse desvio é dado pela expressão ($\lambda_{máx} - n$). Essa diferença é medida em relação ao número de graus de liberdade da matriz ($n - 1$). Assim, o índice de consistência é dado pela equação (7), a seguir;

$$\mathrm{IC} = (\lambda_{\text{máx}} - n)/(n-1) \tag{7}$$

c) Calcula-se a "*razão de consistência*" (RC). Para se determinar a razão de consistência (RC), o índice de consistência (IC) é comparado com o "*índice de consistência aleatória*" (CA) para determinar se o grau de consistência é satisfatório. O índice de consistência aleatória também é denominado de "*índice randômico*" (IR), por outros autores.

O índice de consistência aleatória (CA) representa o valor que seria obtido em uma matriz de comparações paritárias de ordem *n* em que não fossem realizados julgamentos lógicos, preenchendo-se os elementos com valores aleatórios. SAATY (1980 *apud* PAMPLONA, 1999) calculou o índice de consistência aleatória para uma amostra de 500 matrizes recíprocas positivas, de ordem de até 11 por 11, geradas aleatoriamente, encontrando os valores apresentados na Tabela 2.11.

Tabela 2.11 – Valores de consistência aleatória (CA) em função da ordem da matriz (SAATY, 1980 *apud* PAMPLONA, 1999).

n	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**
CA	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51

A razão de consistência permite analisar o grau de violação da proporcionalidade e transitividade dos julgamentos do decisor. É calculada conforme equação (8), a seguir:

$$\mathrm{RC} = \mathrm{IC}/\mathrm{CA} \tag{8}$$

A razão de consistência (RC) é aceitável para valores menores ou iguais a 0,10 (10%). Para valores maiores que 0,10, podem existir sérias inconsistências nos julgamentos e o resultado da aplicação do AHP pode ser considerado "pobre" (incoerente). Neste caso, sugere-se a revisão da matriz de comparações no intuito de rever os julgamentos, buscando torná-los consistentes (SAATY, 1990).

No exemplo de TEKNOMO (2006) o resultado da razão de consistência (RC) foi 8,53% (<10%), indicando que os valores dos pesos atribuídos aos critérios estão consistentes.

BORITZ (1992) aponta como um dos pontos fortes mais significativos do Método AHP a capacidade de medir o grau de consistência presente nos julgamentos par a par e, desse modo, ajudar a assegurar que somente ordenações justificáveis sejam usadas como a base para avaliações.

2.4.1.3. Valoração global

A valoração global de cada uma das alternativas é realizada segundo o método da soma ponderada (SAATY, 1980 *apud* PAMPLONA, 1999), expresso pela equação (9):

$$\mathrm{V(a)} = \sum_{j=1}^{n} \mathrm{p_j\, v_j(a)}, \ \text{ com } \ \sum_{j=1}^{n} \mathrm{p_j} = 1 \ \text{ e } \ 0 < \mathrm{p_j} < 1 \ (\mathrm{j} = 1, \ldots \mathrm{n}) \qquad (9)$$

onde: V(a) corresponde ao valor global da alternativa analisada;

p_j corresponde à importância relativa do critério *j* e;

v_j ao nível de preferência da alternativa analisada no critério *j*.

Segundo ENSSLIN (2001) em um modelo considerado “estável”, ou seja, bem estruturado, pequenas alterações na atribuição dos pesos não modificam significativamente os resultados.

Com a execução de todos os procedimentos descritos anteriormente obtêm-se subsídios consistentes para a tomada de decisão em relação a um problema complexo.

Existem no mercado alguns *softwares*, como *Expert Choice*, HIPRE3+, *Criterium*, AUTOMAN e NCIC, que implementam o AHP e proveem a simplificação do processo de avaliação e a execução dos cálculos matriciais e dos índices de consistência (CHOIRAT & SERI, 2001; SAUNDERS, 1994). Dentre eles, o mais utilizado é o *Expert Choice* (VILAS BOAS, 2005).

Entretanto, existem análises simples, como é o caso dessa pesquisa, em que é possível executar os cálculos matriciais e os índices de consistência por meio de um programa de estruturação de planilhas, como exemplo, o *Microsoft Excel*.

3. MÉTODO E ETAPAS DA PESQUISA

A presente pesquisa tem como abordagem geral a combinação dos métodos indutivo, dedutivo e experimental, característico da investigação científica da natureza a partir do século XVIII (VARGAS, 1985). O embasamento dessa pesquisa também se dá no ferramental científico e nas características da Geologia de Engenharia, conforme apresentado por LANGER (1990) e OLIVEIRA *et al* (1991). A Geologia de Engenharia por sua vez, tem estreita associação com a Mecânica de Solos e a Mecânica das Rochas, e junto com as quais, compõe o campo da Geotecnia (RUIZ & GUIDICINI, 1998).

Considerando-se as premissas, a hipótese de trabalho e os objetivos propostos, a pesquisa também se embasou mais diretamente nos métodos de mapeamento de riscos de escorregamentos sugeridos pelo grupo internacional de estudo dos escorregamentos (IAEG – *International Association for Engineering Geology and the Environment*) e nos trabalhos desenvolvidos no Brasil nas áreas de encostas urbanas precárias.

Com base nesta orientação metodológica geral, estruturou-se um plano de pesquisa conforme as seguintes etapas principais:

1. Planejamento;
2. Pesquisa Bibliográfica;
3. Seleção da área de estudo;
4. Estruturação da planilha de análise de perigo de escorregamentos com o AHP;
5. Aplicação da planilha de análise de perigo na área de estudo;
6. Aplicação da planilha de análise de perigo utilizando a opinião de especialistas;
7. Análise dos resultados;
8. Elaboração das conclusões.

Essas etapas estão simplificadas no fluxograma apresentado na Figura 3.1 e descritas nos itens subsequentes.

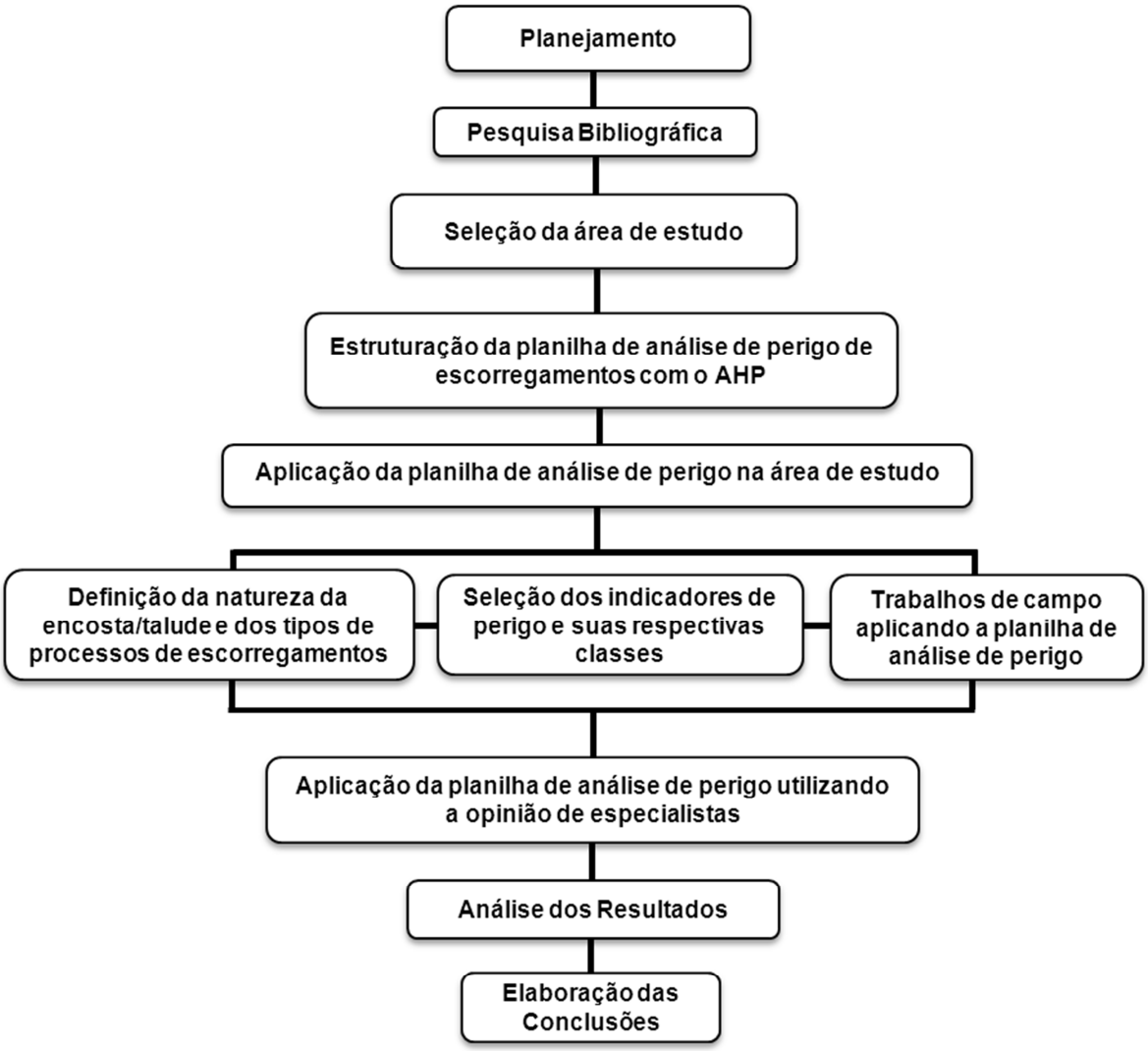

Figura 3.1 - Fluxograma das etapas principais do plano de pesquisa.

3.1. Planejamento

Esta etapa abrangeu as atividades da pesquisa, tais como: a definição do tema, hipóteses de trabalho, objetivos e o método a ser utilizado.

3.2. Pesquisa Bibliográfica

A pesquisa bibliográfica abrangeu dois temas principais: os métodos de mapeamento de risco de escorregamentos em encostas urbanas; e os métodos de apoio a decisão e de análise multicritérios, em particular o Processo de Análise Hierárquica (AHP).

Com o objetivo de direcionar o levantamento bibliográfico ao tema desta pesquisa, foram destacados alguns estudos anteriores envolvendo mapeamentos de riscos de escorregamentos com abordagens qualitativas, ainda predominantes no cenário técnico nacional, principalmente nos projetos em áreas urbanas precárias.

Entre os Métodos Multicritérios de Apoio à Decisão, a revisão foi focada para o entendimento em detalhe do Processo de Análise Hierárquica (AHP), em particular a técnica da comparação par a par, visto o seu potencial de incorporação no método de mapeamento de risco de escorregamentos com abordagem qualitativa.

A síntese da revisão bibliográfica realizada foi apresentada no Capítulo 2.

3.3. Seleção da área de estudo

Nesta etapa efetuou-se o levantamento dos trabalhos realizados pelo IG-SMA relacionados aos mapeamentos de áreas de risco no Estado de São Paulo. Como mencionado anteriormente, no período de 2004 a 2008, o IG-SMA por meio de termos de cooperação técnica com a Coordenadoria Estadual de Defesa Civil (CEDEC-SP) realizou o mapeamento de risco em trinta e um municípios, no Estado de São Paulo, (PRESSINOTTI *et. al*., 2009).

São Sebastião foi escolhido para a aplicação do Método AHP, com base nos trabalhos desenvolvidos pelo IG-SMA, neste município, tais como: a Carta de Risco a Movimentos de Massa e Inundação (SMA, 1996); e o mapeamento de áreas de risco a escorregamentos e inundações" (SMA, 2006), cujos trabalhos de campo foram realizados em 2005 e o relatório foi publicado em 2006.

Dentre as áreas mapeadas pelo IG-SMA, foram destacadas seis áreas de risco críticas associadas a processos de escorregamentos. São elas: Topolândia, Juquehy, Vila Baiana, Toque-Toque Pequeno, Itatinga e Itatinga/Topolândia. Portanto, o critério adotado para a escolha dessas áreas foi a criticidade em relação aos processos de escorregamentos, conforme destacam os trabalhos realizados pelo IG-SMA (SMA, 1996 e SMA, 2006).

3.4. Estruturação da planilha de análise de perigo de escorregamento com o método AHP

O AHP foi definido como procedimento básico para o desenvolvimento da análise de perigo de escorregamento em áreas urbanas precárias. Apesar de existir programas de

AHP disponíveis, inclusive com licença livre, optou-se por estruturar os procedimentos desta técnica em um ambiente de planilha eletrônica do programa *Excel* (*Microsoft*). Este programa foi escolhido devido a sua ampla disseminação, facilidade de uso e possibilidade de ser incorporado em dispositivos portáteis como "*palmtop*", podendo ser utilizado diretamente nos trabalhos de campo.

Cada planilha de análise de perigo de escorregamento é composta por quatro tabelas principais: entrada de dados, chave de ponderação, índice de perigo e classificação do perigo. As três primeiras tabelas são estruturadas para cada área mapeada. A quarta tabela denominada de classificação do perigo agrega todas as áreas mapeadas, ou seja, todos os setores de perigo. As tabelas são descritas a seguir:

- Entrada de Dados

Esta tabela foi elaborada para armazenar os dados do levantamento de campo que no mapeamento de risco do IG-SMA foram identificados em fichas de campo. É composta dos dados de localização, área de estudo, data, equipe de campo, processos identificados, indicadores de perigo, consequências (correspondendo ao número de moradias ameaçadas), números das fotos aéreas, registros fotográficos de campo e dados de GPS (*Global Positioning System*), conforme apresentado na Tabela 3.1. Além destes dados foi inserida uma coluna onde foram transportados os resultados obtidos na análise de perigo (índice e grau) com a aplicação do método AHP.

Tabela 3.1 – Entrada de dados obtidos no levantamento de campo.

ANÁLISE DE PERIGO - ENTRADA DE DADOS - LEVANTAMENTO DE CAMPO												
ÁREA DE ESTUDO:		A1								FICHA No:		1
OBSERVAÇÕES:												
SETOR	ENCOSTA/TALUDE	PROCESSO	INDICADORES DE PERIGO			ANÁLISE DE PERIGO		CONSEQÜÊNCIAS		CARTOGRAFIA - REGISTRO		
			IP1	IP2	IP3	ÍNDICE	GRAU	CASA_ALVENARIA	CASA_MADEIRA	MAPA/FOTO AÉREA	FOTOS CAMPO	GPS
A1_S1												

Cada linha da tabela armazena um setor de análise de perigo definido com base na natureza da encosta/talude e nos tipos de processos de instabilização predominantes. No caso de ocorrerem mais de um processo no setor, a análise é feita para cada um desses processos.

Como forma de facilitar a identificação e o preenchimento dos dados durante os trabalhos de campo, foi acrescentada uma legenda dos indicadores de perigo com as

respectivas classes, representadas por letras, conforme a Tabela 3.2. Essa legenda funciona como uma listagem de controle, utilizada na descrição em campo, dos processos identificados nos setores de perigo.

Tabela 3.2 – Estruturação da legenda dos indicadores de perigo e suas respectivas classes.

LEGENDA DOS INDICADORES DE PERIGO					
ENCOSTA/TALUDE	PROCESSO	IP1	IP2	IP3	IP4....
E1	P1	(C1a) Classe 1a (C1b) Classe 1b (C1c) Classe 1c	(C2a) Classe 2a (C2b) Classe 2b (C2c) Classe 2c	(C3a) Classe 3a (C3b) Classe 3b (C3c) Classe 3c	(C4a) Classe 4a (C4b) Classe 4b (C4c) Classe 4c

- Chave de ponderação.

Esta tabela armazena as classes dos indicadores de perigo e seus respectivos pesos de acordo com a natureza da encosta e os tipos de processos de escorregamentos. Para cada classe é atribuído uma letra associada a um número, conforme indicado na Tabela 3.3 entre parênteses. Os pesos relativos das classes foram atribuídos utilizando o Método do Processo de Análise Hierárquica (AHP), logo, foram definidos através do cálculo da matriz de decisão, conforme os procedimentos adotados pelo método AHP, descritos anteriormente no item 2.4.1., na página 40. A Tabela 3.3 indica como foi estruturada a tabela denominada chave de ponderação.

Tabela 3.3 - Estruturação da tabela chave de ponderação.

CHAVE DE PONDERAÇÃO					
ENCOSTA/TALUDE	PROCESSO	IP1	PESOS	IP2...	PESOS...
E1	P1	(C1a) Classe 1a (C1b) Classe 1b (C1c) Classe 1c	P1a P1b P1c	(C2a) Classe 2a (C2b) Classe 2b (C2c) Classe 2c	P2a P2b P2c

- Índice de perigo

Esta tabela contém os dados de entrada de uma área mapeada, na forma de letras, definidas na da chave de ponderação. Foi criada uma área dentro desta planilha onde os pesos correspondentes às letras são transportados da tabela da chave de ponderação.

Em seguida é efetuado o cálculo do índice de perigo (IP) com os valores numéricos dos pesos, conforme a seguinte fórmula de ponderação:

$$IP = \sum_{i=1}^{n} p_i \; x_i/100 \qquad (10)$$

Onde:

p = peso do condicionante do processo (indicador de perigo);
x = peso da classe do respectivo indicador de perigo.

O índice de perigo é calculado para cada natureza de encosta e tipo de processo de escorregamento, identificados nos setores analisados. Cada área mapeada contém uma tabela do IP. A hierarquização dos índices de perigo identificados nas áreas mapeadas é realizada na tabela de classificação do perigo descrita a seguir.

- Classificação do Perigo.

A tabela de classificação geral do perigo foi estruturada com os dados do IP obtidos na tabela do índice de perigo de todas as áreas mapeadas, ou seja, aborda todos os setores.

A função desta tabela é classificar o perigo, em baixo, médio, alto e muito alto, os índices de perigo para cada natureza de encosta/talude e tipo de processos de escorregamento, identificados nos diversos setores das áreas mapeadas. Essa classificação foi realizada por meio da média aritmética dos índices de perigo calculados na tabela do índice de perigo.

Os critérios adotados para a classificação do índice de perigo (IP) foram dois:

a) a média aritmética ($\bar{X}$) dos valores numéricos do índice de perigo, somada ou diminuída da metade do desvio padrão (Δ). Esse critério é representado pela equação (11), a seguir:

$$\mathbf{IP = \bar{X} \pm \frac{1}{2} \Delta} \qquad (11)$$

b) presença de feições de instabilidade expressivas, classificando o perigo como “muito alto”, descritas no Capítulo 2.

Salienta-se que nesta etapa ocorreu uma associação de um método estatístico de fatiamento (média aritmética somada ou diminuída da metade do desvio padrão) e da presença de feições de instabilidade expressivas, com o método AHP, objetivando a classificação do Índice de Perigo. Logo, os dois critérios adotados, apresentados acima, não fazem parte dos procedimentos do Método AHP, mas visam complementá-los.

A Tabela 3.4, a seguir, apresenta os critérios adotados na classificação do índice de perigo.

Tabela 3.4 – Critérios adotados para a classificação do índice de perigo (IP).

Índice de Perigo (IP)	**Grau de Perigo**
IP < $\overline{X}$ - ½ Δ	**BAIXO**
$\overline{X}$ - ½ Δ ≤ IP ≤ $\overline{X}$ + ½ Δ	**MÉDIO**
IP > $\overline{X}$ + ½ Δ	**ALTO**
Presença de feições de instabilidade expressivas	**MUITO ALTO**

O grau de perigo muito alto foi definido de acordo com a metodologia do Ministério das Cidades, ou seja, com base na presença de evidências de instabilidade expressivas e presentes em grande número ou magnitude.

Na classificação do perigo, todos os setores são classificados conforme o critério da equação 11, apresentada acima; caso ocorra a presença de feições de instabilidade, esses setores com feições expressivas são reclassificados como setores com perigo muito alto. Dessa forma, com a aplicação do AHP, os condicionantes geológico-geotécnicos serão sempre analisados, sendo possível verificar a contribuição de cada um deles no desenvolvimento de determinado processo de escorregamento.

3.5. Aplicação da planilha de análise de perigo na área de estudo

Nesta etapa, as seis áreas de risco de escorregamentos localizadas no município de São Sebastião (SP) selecionadas na etapa descrita no Capítulo3 (item 3.3, página 50), foram mapeadas utilizando a planilha de análise de perigo com a incorporação do método AHP. Em cada uma das áreas adotou-se a seguinte sequência geral de etapas de trabalho: 1) Definição da natureza da encosta/talude e dos tipos de processos de escorregamentos nos setores de análise; 2) Seleção dos indicadores de perigo e suas respectivas classes e; 3) Trabalhos de campo aplicando a planilha de análise de perigo.

Estas três etapas são descritas nos itens a seguir.

3.5.1. Definições da natureza da encosta/talude e dos tipos de processos de escorregamentos nos setores de análise

As definições da natureza da encosta/talude e dos tipos de processos de escorregamentos foram realizadas com base nos trabalhos de campo e em referências bibliográficas. Além disso, foram elaboradas de tal forma que o resultado da aplicação do AHP apresentasse rapidez e facilidade na interpretação, sem prejudicar a qualidade da análise.

A natureza da encosta/talude identificada nos setores de análise das seis áreas mapeadas foi definida em quatro tipos:

- Encosta natural;
- Talude de corte em solo/rocha;
- Bloco rochoso;
- Talude de aterro

Os processos de escorregamentos foram agrupados nos seguintes tipos básicos conforme a natureza da encosta/talude:

- Escorregamento raso de solo em encosta natural;
- Escorregamento de solo e rocha em talude de corte;
- Rolamento/desplacamento de blocos rochosos;
- Escorregamento em aterro (solo, entulho/lixo).

O tipo de processo contemplado em cada setor analisado foi o predominante. Quando observou-se mais de um tipo de processo com potencial elevado de ocorrência no mesmo setor (escorregamentos de solo e de rocha em taludes de corte, por exemplo), a análise de perigo foi realizada para ambos, sendo adotado o maior valor do índice de perigo para o setor.

3.5.2. Seleção dos indicadores de perigo e suas respectivas classes.

Os condicionantes geológico-geotécnicos e ambientais dos processos de escorregamentos foram denominados de indicadores de perigo, sendo agrupados em tipos e classes específicas. Após a seleção dos indicadores de perigo foram atribuídos pesos

relativos a cada um deles com aplicação do método AHP, conforme as três etapas de desenvolvimento do método AHP sugerido por TEKNOMO (2006) e já apresentado no Capítulo 2 (item 2.4.1, página 40).

A Figura 3.2 ilustra a estruturação dos tipos (nível hierárquico 1) e classes (nível hierárquico 2) de indicadores de perigo adotados para análise e mapeamento dos setores de perigo. O procedimento de atribuição de pesos relativos com a aplicação do método AHP foi realizado para os dois níveis hierárquicos dos indicadores de perigo. A Figura 3.3 ilustra um exemplo deste procedimento para o nível hierárquico 1 dos indicadores de perigo: declividade versus uso/cobertura do solo.

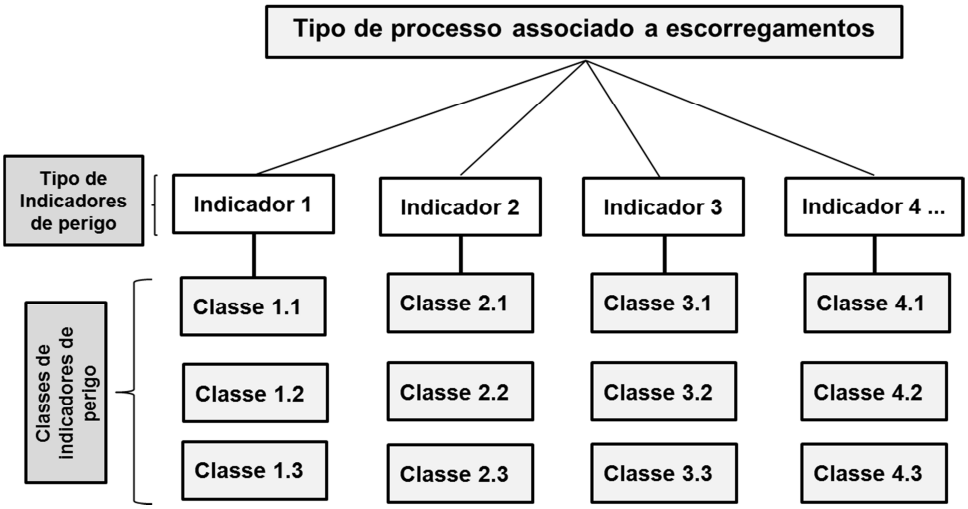

Figura 3.2 – Estruturação dos níveis hierárquicos para a aplicação do Método AHP.

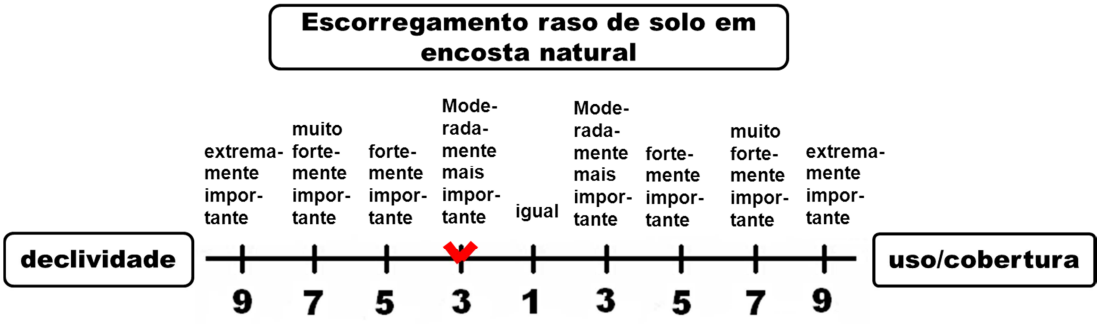

Figura 3.3 – Exemplo da Escala Fundamental de SAATY na comparação par a par da declividade e do uso/cobertura do solo para o processo de escorregamento raso de solo em encosta natural.

Seguindo-se a sequência de aplicação do método AHP foram realizadas as operações de normalização dos pesos relativos nas matrizes de comparação obtendo o vetor de prioridades ou autovetor, o qual fornece o peso relativo de cada indicador de perigo expresso em percentagens (Figura 3.4). A comparação par a par apresentada na Figura 3.3 está marcada *em azul* na matriz de decisão AHP indicada na Figura 3.4.

Cálculos AHP - tamanho 7 x 7			ESCORREGAMENTO RASO DE SOLO EM ENCOSTAS NATURAIS				
Matriz Recíproca							
Indicadores de perigo	Amplitude	Declividade	Uso/cobertura	Nível d' água (NA)	Água superficial	Material	Estrutura Geológica
Amplitude	1	1/5	1/3	1/3	2	2	5
Declividade	5	1	3	3	2	5	7
Uso/cobertura	3	1/3	1	2	2	5	5
Nível d' água (NA)	3	1/3	1/2	1	3	3	8
Água superficial	1/2	1/2	1/2	1/3	1	3	5
Material	1/2	1/5	1/5	1/3	1/3	1	3
Estrutura Geológica	1/5	1/7	1/5	1/8	1/5	1/3	1

Figura 3.4 – Exemplo da estruturação da matriz de decisão AHP para o processo de escorregamento raso de solo em encostas naturais. As marcações em azul indicam a comparação par a par exemplificada na Figura 3.3.

Como última etapa da definição dos pesos relativos dos indicadores de perigo foi realizada a análise de consistência dos pesos atribuídos, por meio da Razão de Consistência (RC). Conforme apresentado anteriormente, os julgamentos, ou seja, as atribuições dos pesos são aceitáveis quando a Razão de Consistência (RC) for igual ou inferior a 10% (equação 8, item 2.4.1, na página 46). No caso da obtenção de um valor de RC maior do que 10%, a atribuição de pesos é refeita.

A seleção dos tipos de indicadores de perigo apoiou-se nos trabalhos de CERRI (1993); MACEDO (2001) e nos trabalhos de mapeamento de áreas de risco de escorregamentos em encostas urbanas com abordagem qualitativa, descritos em: FUNDUNESP (2003), CERRI *et al.* (2004a e 2004b, 2007), CANIL *et al.* (2004), MACEDO *et al.* (2004a, 2004b), FARIA *et al.* (2005) e SANTORO *et al.* (2005).

A seleção das classes de indicadores de perigo foi realizada com base nos trabalhos de YOSHIKAWA (1997), MACEDO (2001), FUNDUNESP (2003) e SMA (2006).

3.5.3. Trabalhos de campo aplicando a planilha de análise de perigo.

Os trabalhos de campo se desenvolveram nos meses de maio e julho de 2009, com o objetivo de identificar a tipologia dos processos associados a escorregamentos, os indicadores de perigo e suas respectivas classes para a aplicação do AHP. O mapeamento

de perigo de escorregamento das áreas selecionadas foi realizado aplicando as tabelas estruturadas na planilha de análise de perigo.

Os setores de perigo foram delimitados utilizando fotografias aéreas digitais (sobrevoo) coloridas impressas nas escalas entre 1:1.000 a 2.000, datadas de 2001. Além destas fotos, foram utilizados outros documentos e mapas disponíveis para área como documentos de apoio e consulta (carta geotécnica, relatórios de atendimento de emergências associadas a deflagração de escorregamentos, entre outros).

Para a preparação das fotos aéreas para a delimitação dos setores de perigo foi utilizado o Sistema de Informação Geográfica – SIG Arcgis 9.3. No SIG foram geradas bases cartográficas com as fotos aéreas digitais para cada área mapeada, as quais foram exportadas para o formato de arquivos de imagem do tipo *jpg* (*joint photographic group*), que podem ser editados por programas comuns e facilmente disponíveis como *Microsoft Power Point*, *Paint*, *Corel Draw*, entre outros.

No zoneamento do perigo, a delimitação dos setores em campo foi realizada com base nos seguintes procedimentos:

- pré-setorização a uma distância que possibilitasse a visão geral do cenário de risco, observando o relevo e a forma de ocupação da área a ser mapeada. Nesta etapa foram considerados: a posição da ocupação em relação a encosta (topo, meia-encosta e base, com possibilidades de queda; queda ou atingimento e atingimento, respectivamente), forma do perfil da encosta (retilínea, convexo, côncavo, côncavo-convexo), identificação da tipologia dos processos esperados e a delimitação da área possível de ser afetada pelo processo;
- setorização em escala de detalhe, verificando localmente as observações realizadas à distância e identificando os indicadores de perigo e as feições de instabilidade em cada setor.

Destaca-se que no zoneamento são delimitados setores com moradias em situação de perigo similar, o que permite a homogeneização dessas condições de perigo para um dado setor. Portanto, não é aconselhável delimitar setores extensos, evitando generalizações. Ressalta-se também que na setorização, não se aplica o Método AHP.

A forma de preenchimento da ficha de campo pode ser realizada diretamente na planilha *Excel*, por meio de um *palmtop* ou na planilha impressa em papel.

Os índices de perigo foram obtidos pela ponderação dos pesos relativos dos indicadores de perigo conforme a equação 10 (no Capítulo 3, item 3.4, na página 50). A classificação e hierarquização final dos setores em baixo, médio, alto e muito alto perigo de escorregamentos foi realizada conforme os critérios matemáticos definidos na Tabela 3.4 (Capítulo 3, item 3.4, na página 54).

3.6. Aplicação da planilha de análise de perigo utilizando a opinião de especialistas

Como forma de se avaliar os resultados da análise de perigo, foram escolhidos três especialistas em mapeamento de áreas de risco de escorregamentos para realizarem a atribuição dos pesos nos julgamentos paritários da matriz de decisão AHP. A escolha dos especialistas foi determinada principalmente com base na experiência e na aplicação recente do método de mapeamento de risco de escorregamentos adotado pelo Ministério das Cidades por estes profissionais.

Na realização desta etapa, foram considerados os mesmos indicadores de perigo e suas respectivas classes, adotados nesta pesquisa. Assim como, foram consideradas as mesmas observações dos indicadores de perigo de escorregamentos realizadas nos trabalhos de campo nas seis áreas mapeadas. Portanto, os três especialistas utilizaram:

- a Escala de SAATY na comparação par a par dos indicadores e suas respectivas classes de atributos;
- os mesmos indicadores e suas respectivas classes, descritos neste trabalho;
- as mesmas observações realizadas no levantamento de campo de 2009, ou seja, os mesmos dados de entrada, incluindo a mesma setorização, para a realização da análise de perigo.

As matrizes de decisão AHP foram estruturadas conforme os julgamentos paritários dos três especialistas. Em seguida, a planilha de análise de perigo correspondente a opinião de cada especialista foi aplicada para as seis áreas mapeadas. Finalmente, os resultados da análise de perigo dos especialistas foram comparados na forma de tabelas para cada área mapeada.

3.7. Análise dos Resultados

Para cada área mapeada foram apresentados os resultados obtidos na análise de perigo de escorregamentos com a aplicação do AHP. Também foram apresentados os resultados da análise de perigo com base nos julgamentos paritários dos três especialistas consultados.

Esses resultados foram apresentados na forma de tabelas e em cenas (imagens das fotos aéreas) com a delimitação dos setores em cada área mapeada com as respectivas classificações do perigo com a aplicação do AHP e do risco no mapeamento do IG-SMA (SMA, 2006).

Além disso, foram realizadas: a reanálise da delimitação dos setores e a comparação dos graus de perigo obtidos com a aplicação do método AHP e dos graus de risco obtidos no mapeamento realizado pelo IG-SMA em 2005 (publicado em 2006).

3.8. Elaboração das Conclusões

Finalmente, foram elaboradas considerações sobre a aplicação do Método do Processo de Análise Hierárquica no mapeamento de perigo de escorregamentos em áreas urbanas precárias.

4. ÁREA DE ESTUDO

O município de São Sebastião situa-se no Litoral Norte do Estado de São Paulo, na região sudeste do Brasil, entre as coordenadas 23°38’52” e 23°50’30” de latitude Sul e 45°23’44” e 45°50’00” de longitude Oeste, conforme indicado na Figura 4.1a. É limitado ao Norte pelo Município de Caraguatatuba, ao Sul pelo Oceano Atlântico, a Oeste pelo Município de Bertioga, a Oeste-noroeste pelo Município de Salesópolis, a Leste-nordeste pelo Canal de São Sebastião.

As seis áreas de risco selecionadas para a realização do mapeamento de perigo com a aplicação do Método AHP estão indicadas na Figura 4.1b.

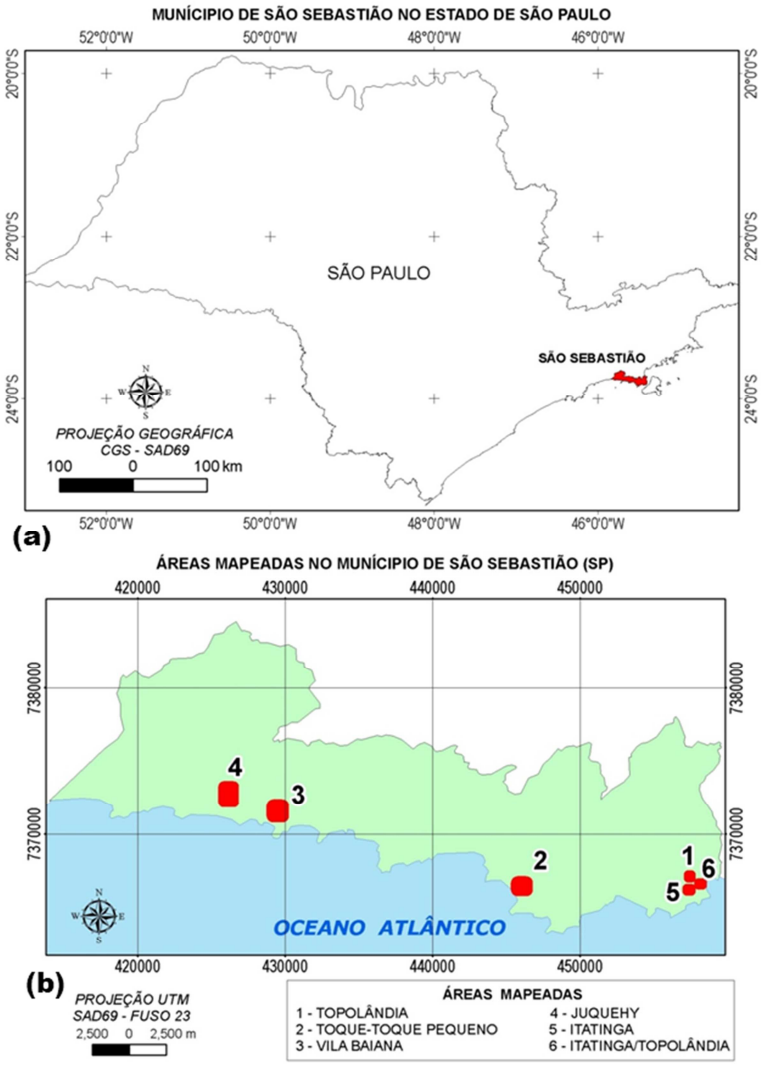

Figura 4.1 – Localização da área de estudo. (a) localização do município de São Sebastião no Estado de São Paulo; (b) indicação das áreas de risco de escorregamentos.

4.1. Caracterização do Meio Físico

São Sebastião apresenta expansão da ocupação urbana, principalmente nas áreas de encostas e devido às suas características geomorfológicas, climáticas, litológicas, pedológicas e biogeográficas, estes ambientes contém elevado grau de fragilidade ambiental. Neste contexto se insere toda a região litorânea do Estado de São Paulo, na qual a atividade turística, associada à sua suscetibilidade ambiental, gera um alto grau de alteração causada pelas atividades antrópicas, que muitas vezes ultrapassam a capacidade de suporte desse ambiente. Portanto, é importante analisar e mapear o perigo de escorregamentos gerados pela ocupação urbana nas áreas precárias de forma a dar suporte ao gerenciamento de risco efetuado pelo poder público nas três esferas de governo (municipal, principalmente; estadual e federal).

A seguir são descritas as principais características do meio físico do município, tais como: geomorfologia, clima, geologia, geotecnia e uso/cobertura do solo.

4.1.1. Geomorfologia

O município de São Sebastião é constituído por diferentes domínios morfoestruturais, apresentando aspectos geomorfológicos bem distintos entre si. Dentre as formas de relevo que se observa nesta região destacam-se três compartimentos geomorfológicos, apresentados na Figura 4.2: Planalto; Escarpas da Serra do Mar e Morros Litorâneos; e Planícies costeiras (ROSS & MOROZ, 1997).

Os Planaltos são predominantemente caracterizados pela forma mamelonar, que constitui uma topografia piramidal, com topos arredondados, sendo difícil a distinção da linha de cumeada (GUERRA & GUERRA, 2001). Segundo CRUZ (1974), esta área é também caracterizada por grandes amplitudes topográficas existentes entre as serras e as planícies fluviais e baixos terraços. Nesta unidade é esperada a ocorrência natural de movimentos gravitacionais de massa devido às maiores amplitudes de relevo (SMA, 1996). Grande parte destas áreas muito frágeis foi protegida pela criação do Parque Estadual da Serra do Mar.

Na unidade das Escarpas de Serra do Mar e dos Morros Litorâneos predominam as formas de relevo denudacionais constituindo-se basicamente por escarpas e cristas com

topos aguçados, com entalhamento dos vales variando entre 80 m e 160 m. As altimetrias variam de 20 a 1.000 m e as declividades predominantes são superiores a 40%, podendo atingir 60% em alguns setores (IPT, 2000).

Nas escarpas a espessura de solo é restrita, predominando a presença de blocos e paredões rochosos. Na base das escarpas os solos alcançam espessuras maiores e são comuns os depósitos de tálus e colúvio, normalmente são constituídos de material argiloso com fragmentos de rocha de tamanhos diversos (SMA, 1996).

Os morros litorâneos apresentam topos convexos estreitos e alongados, solos mais espessos e depósitos de tálus/colúvio próximo à base. Com a retirada da cobertura vegetal e a ocupação antrópica estão, em sua maior parte, degradados pela intensificação dos processos erosivos e de movimentos de massa, tais como: rastejos e escorregamentos (SMA, 1996).

As planícies flúvio-marinhas correspondem ao ambiente fluvial atual e respectiva planície de inundação, instalados sobre antigos depósitos de origem marinha. Essas planícies são mais amplas na porção sudoeste do município onde o recuo das escarpas é maior. Estão sujeitas a inundações periódicas, devido ao lençol freático pouco profundo (IPT, 1981; ROSS & MOROZ, 1997).

As planícies marinhas referem-se ao ambiente litorâneo atual e pré-atual das praias e cordões litorâneos, sendo influenciadas pelo regime das marés.

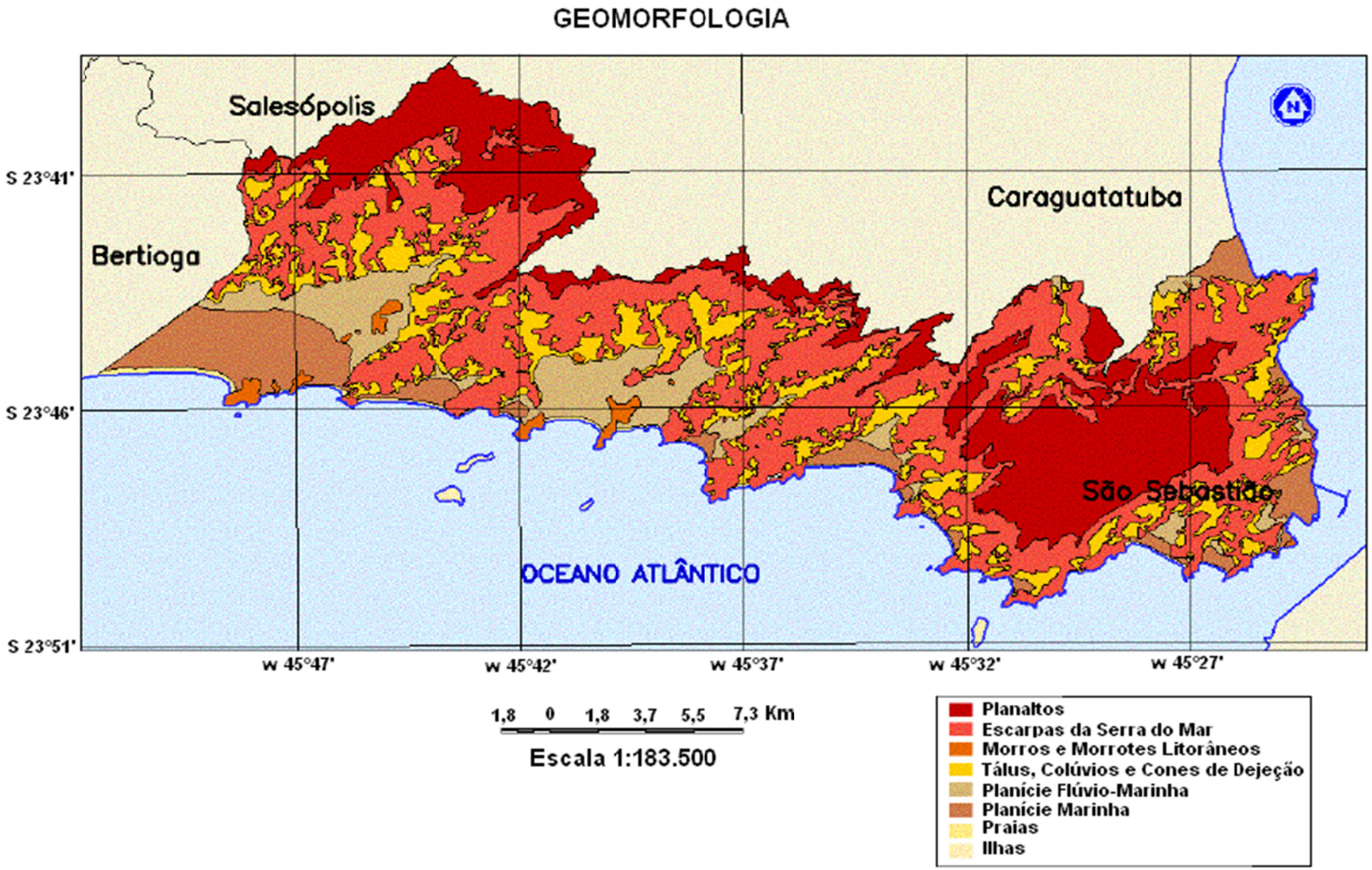

Figura 4.2 – Mapa Geomorfológico de São Sebastião – SP (modificado de RODRÍGUEZ, 2005). Fonte: SMA, 1996.

As características geomorfológicas da região contribuem diretamente na variação local dos elementos climáticos, principalmente devido às variações altimétricas entre as unidades geomorfológicas.

4.1.2. Clima

Em termos climáticos e segundo MONTEIRO (1973), o município de São Sebastião é controlado predominantemente pelas massas equatoriais e tropicais. O domínio da massa de ar tropical na região mantém a estabilidade do tempo com predomínio de Sol. Já a massa equatorial caracteriza-se por temperaturas muito elevadas, podendo ser seca, quando formada sobre o continente, e úmida quando formada sobre o Oceano Atlântico Equatorial. Além disso, esta região também pode ter influência de sistemas frontais provenientes do sul, que ocasionam instabilidades de tempo provocando chuvas. Este trecho do litoral paulista está sujeito a menor participação das massas polares (30 a 40% de participação anual), consequentemente, tem menos influência de temperaturas baixas, se comparado aos setores central e meridional deste litoral (MONTEIRO, 1973).

Além dos sistemas atmosféricos que atuam na região, outro fator de grande influência no clima de São Sebastião são as altitudes variadas das escarpas da Serra do Mar. De acordo com MONTEIRO (1973), estas são responsáveis pela acentuada pluviosidade mesmo no inverno. As vertentes da serra neste trecho do litoral possuem maior influência na intensificação das chuvas relacionadas com a massa tropical atlântica do que com os sistemas atmosféricos provenientes de sul. Isto ocorre devido ao alinhamento paralelo das escarpas da Serra do Mar com a linha da costa, contribuindo para os elevados índices pluviométricos a barlavento das encostas (sentido oceano-continente). Os sistemas frontais provenientes do sul, geralmente carregados de precipitação pluviométrica, desencadeiam valores mais elevados de chuvas a barlavento das serras do litoral paulista que possuem seus alinhamentos opondo-se a trajetória destes sistemas.

Em São Sebastião, os índices pluviométricos mais altos encontram-se nas altitudes mais elevadas das encostas, registrando valores de até 3.000 mm, enquanto que na planície os valores alcançam até 1.700 mm de precipitação anual.

PEREIRA & NUNES (1997), observaram uma distribuição espacial da pluviosidade bastante diferenciada no município. Com base na séria histórica que compreendeu o período de 1973 a 1993, os autores destacaram três regiões do município, com relação ao índice pluviométrico médio anual:

- *Alta Pluviosidade* localizada a oeste-sudoeste compreendendo os bairros de Boracéia e Maresias apresentando índice pluviométrico anual de 2.219 mm;
- *Média Pluviosidade* localizada ao norte da área urbana até o município de Caraguatatuba com índice pluviométrico anual de 1.702 mm;
- *Baixa Pluviosidade* abrange a área urbana de São Sebastião, com índice pluviométrico anual de 1.463 mm.

Em termos de porcentagens, na área de alta pluviosidade, chove aproximadamente 36% mais que na área de baixa pluviosidade e 26% mais que na área de média pluviosidade que, por sua vez, é 24% mais úmida que a área de baixa pluviosidade (PEREIRA & NUNES, 1997).

Esta diferença de pluviosidade regional foi comprovada pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE, 2003) com base nos gráficos apresentados nas Figuras 4.3 e 4.4. A Figura 4.3 mostra os dados de pluviosidade média mensal no período de 1970 a 1999 coletados no posto pluviométrico de Maresias e a Figura 4.4 indica os dados de pluviosidade média mensal para o mesmo período, coletados no posto pluviométrico do Bairro de São Francisco situado próximo ao centro de São Sebastião. Observa-se que em Maresias o índice pluviométrico médio mensal é maior em relação ao índice do centro do município.

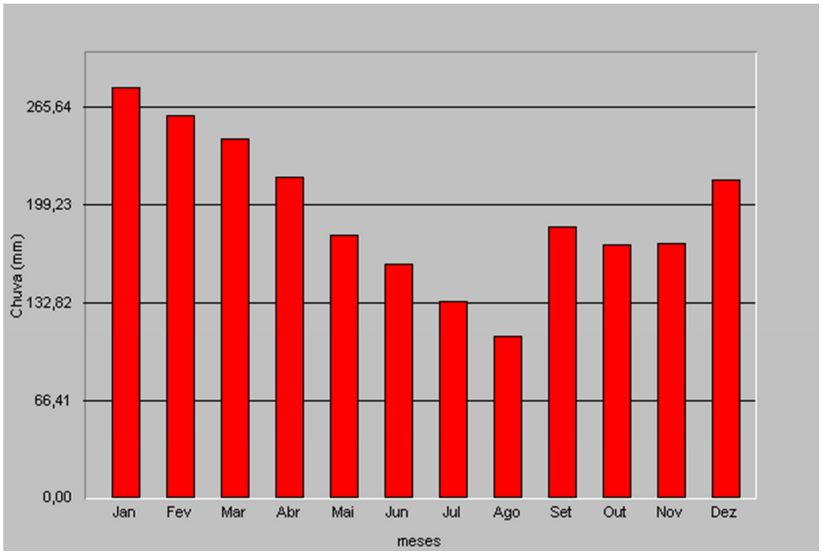

Figura 4.3 – Dados pluviométricos do município de São Sebastião – Posto Pluviométrico de Maresias – pluviograma acumulado médio mensal do período de 1970 a 1999 (Fonte: DAEE, 2003).

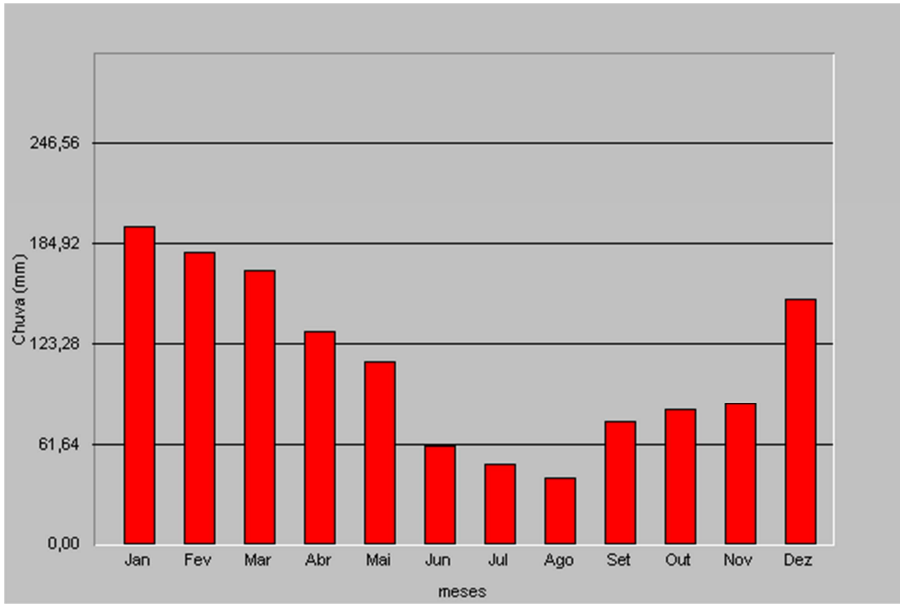

Figura 4.4 - Dados pluviométricos do município de São Sebastião – Posto Pluviométrico de São Francisco – pluviograma acumulado médio mensal do período de 1970 a 1999 (Fonte: DAEE, 2003).

Dentre os períodos sazonais, o verão é o que concentra o maior volume de precipitação pluviométrica, tendo janeiro como o mês mais chuvoso. A primavera também caracteriza-se por elevados índices de pluviosidade, ficando as estações do outono e inverno com os volumes mais baixos de precipitação. Desta forma, os meses que registram os menores índices pluviométricos são junho, julho e agosto.

Segundo SMA (1998) os meses que possuem mais do que 50% de dias com chuva são outubro, dezembro e janeiro, enquanto que as maiores frequências de chuva acumulada em três dias igual ou superior a 120 mm ocorrem nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março.

Esses meses correspondem ao período de implantação do Plano Preventivo de Defesa Civil (PPDC), específico para escorregamentos nas encostas da Serra do Mar no Estado de São Paulo, estabelecido por meio do Decreto Estadual n° 30.860, de 04/12/1989, redefinido pelo Decreto nº 42.565 de 01/12/1997, cujo objetivo principal é evitar mortes por escorregamentos durante os meses com maior precipitação.

4.1.3. Geologia

A geologia do município de São Sebastião, de modo geral, pode ser representada pelas seguintes unidades litológicas, conforme apresentado na Figura 4.5: depósitos

litorâneos atuais; depósitos de encostas; sedimentos continentais; sedimentos marinhos; sedimentos flúvio-lagunares; rochas granitóides; migmatitos e granulitos (IPT, 1981).

Os depósitos litorâneos atuais constituem-se principalmente por areias de praia, cuja granulometria varia em função do tipo de praia, onde as praias de bolso (por exemplo: Santiago e Toque-Toque Pequeno) apresentam areias de granulometria média a grossa e as praias mais amplas e abertas (por exemplo: Maresias) possuem areias mais finas, com melhor seleção (SMA, 1996).

Os depósitos de encostas correspondem aos depósitos de tálus e colúvio situados à meia encosta, nos sopés das escarpas e em áreas com declives suficientes para transportar o material por ação da gravidade. Os depósitos de tálus correspondem ao acúmulo de blocos e matacões de rochas com dimensões até métricas, com maior ou menor grau de arredondamento, envoltos por uma matriz argilosa e areno-silto-argilosa. Os colúvios são depósitos com variação granulométrica menor, dispostos em forma de rampa com espessuras também variáveis (SMA, 1996).

Os sedimentos continentais (aluviões) estão associados às planícies de inundação, várzeas e terraços dos rios atuais. Apresentam grande variação na granulometria, na composição, na distribuição e também no arranjo, além de estarem condicionados por fatores como declividade do terreno e composição do substrato da área drenada. Estes sedimentos são constituídos por silte, argilas de alta plasticidade e cascalho (SMA, 1996).

Os sedimentos marinhos são formados por areias com grau de seleção de média a fina formada principalmente por quartzo. Esses sedimentos são apresentados por terraços mais elevados situados na retaguarda das praias atuais e podem ser recobertos por cordões litorâneos em cristas praiais parcialmente preservadas (SMA, 1996).

Os sedimentos flúvio-lagunares são constituídos por corpos irregulares de argila que se mesclam a sedimentos arenosos muito finos a silto-arenosos (SMA, 1996).

As rochas granitóides pertencem a suítes graníticas sintectônicas com granulometria fina a média, textura porfirítica e composição granodioritica a granítica (IPT, 1981). Os migmatitos são caracterizados pela alternância de minerais claros e níveis de escuros, denominando-se Biotita-Gnaisse. Quando o espaçamento entre os níveis claros e escuros aumenta, formando camadas ou bandas de diferentes composições minerais, dá-se o nome de migmatitos bandados (IPT, 1981). As rochas granulíticas são representadas de modo geral, por piroxênios granulitos, granulitos quartzo-feldspáticos, kinzitos, charnoquitos e rochas granito-gnaíssicas a hiperstênio, localmente migmatizadas (IPT, 1981).

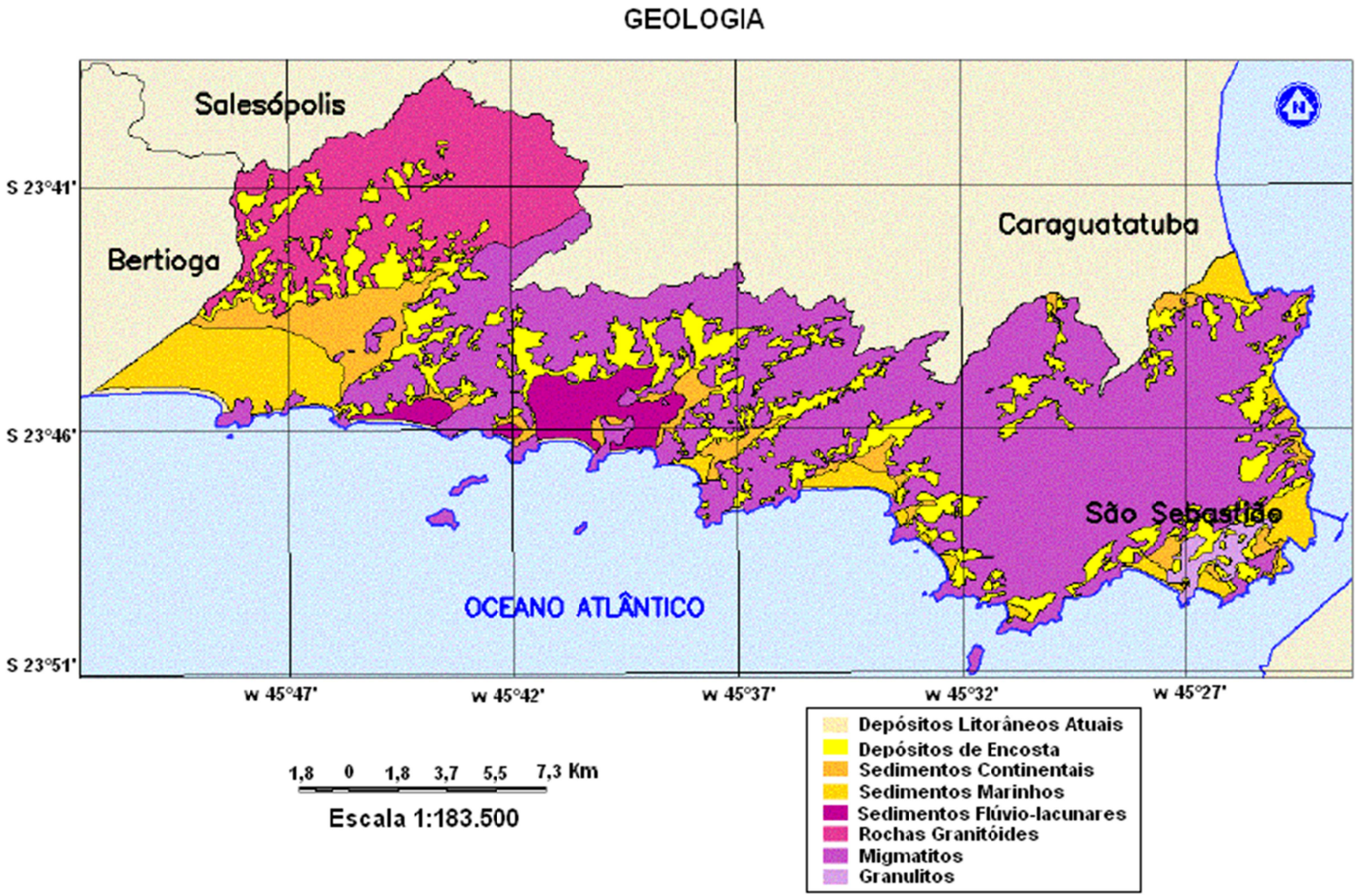

Figura 4.5 – Mapa Geológico de São Sebastião – SP (modificado de RODRÍGUEZ, 2005). Fonte: IPT, 1981.

As estruturas geológicas influenciam o comportamento do material rochoso, sua alteração e desagregação, assim como a resposta do material à ação dos processos naturais e antrópicos. As estruturas observadas e representadas na Carta Risco a Movimentos de Massa e Inundação em São Sebastião (SMA, 1996), são apresentadas a seguir:

- Foliação – refere-se a planos definidos pela orientação preferencial dos minerais constituintes da rocha. No município a foliação ocorre na forma de xistosidade, bandamento composicional e foliação milonítica. O comportamento da foliação (orientação espacial) varia em função da estruturação regional, estando disposta predominantemente segundo a direção nordeste (NE). Entre Boracéia e Juquehy, o mergulho da foliação é subvertical sendo que ora inclinado para Sudeste (SE) ora para Noroeste (NW). A partir de Juquehy, o mergulho é alto e com direção para NW. Diminuindo gradativamente até que, no trecho entre Maresias e Toque-Toque Pequeno, torna-se sub-horizontal com inclinação para Norte-Nordeste (NNE). De Toque-Toque em diante, passando pelo centro de São Sebastião até o Bairro das Cigarras, a foliação inclina-se para NW em ângulos baixos. Do extremo nordeste (Ponta do Camaroeiro) até o Bairro Jaraguá, volta a apresentar mergulhos altos com inclinação para NW;
- Zonas de Cisalhamento - correspondem a faixas (com extensão de quilômetros) onde a deformação foi mais intensa produzida por deslocamento diferencial de blocos crustais. Esses deslocamentos foram devidos a esforços tectônicos no interior da crosta terrestre em tempos remotos. Na porção sudeste, as zonas de cisalhamento tiveram movimentação predominantemente lateral, sendo chamadas de transcorrentes, enquanto que na porção leste-nordeste predominou a movimentação vertical ou mista, sendo chamadas de cavalgamento ou empurrão em baixo ângulo.
- Falhas e Fraturas - são superfícies de descontinuidade contidas nas rochas, separando duas partes, originalmente unidas. São originadas também por esforços de natureza tectônica, em grande parte, ou também pela ação antrópica, como alívio de pressão nos maciços rochosos provocados por cortes. Quando ocorre a ruptura sem ocorrer deslocamento, denomina-se fratura ou junta. Quando ocorre ruptura acompanhada de deslocamento entre as porções, chama-se falha. No município, esses dois tipos de estruturas são comuns, ocorrendo em escala centimétrica a métrica. Devem ser destacadas as falhas com pequeno deslocamento, cuja característica do plano onde ocorre a movimentação permite chamá-las de planos

estriados, em decorrência da formação de uma superfície polida, e contendo estrias provocadas pelo atrito durante o deslocamento. Os planos estriados ocorrem por toda a área, sendo mais frequente o sistema de planos estriados com orientação NE, subparalelo à foliação.

4.1.4. Geotecnia

A Carta Geotécnica do Estado de São Paulo (IPT, 1994), indica as áreas de incidência dos processos naturais e induzidos pela ação antrópica relacionados à erosão, movimentos gravitacionais de massa, afundamentos cársticos, expansão/contração do solo, inundações, adensamentos de solos moles, processos da dinâmica costeira, abalos sísmicos e poluição das águas subterrâneas.

As principais unidades geotécnicas identificadas no município de São Sebastião, relacionadas às unidades litológicas descritas no item 4.1.3 (na página 67) são apresentadas na Figura 4.6 e descritas a seguir:

- *Alta Suscetibilidade a inundação, recalques, assoreamento, solapamento das margens dos rios:* são terrenos planos constituídos por sedimentos de textura variada, próximos aos cursos d´água e pertencentes a planícies aluviais interiores;
- *Alta Suscetibilidade a recalques por adensamento de solos moles e inundações pluviais:* são terrenos da baixada litorânea, constituídos pelos sedimentos de origem flúvio-lagunar com relevos quase planos e situados a cotas pouco acima do nível máximo das marés. Ocorrem na planície costeira, abrangendo todo o Litoral Paulista;
- *Baixa Suscetibilidade a recalques e inundações:* são terrenos de baixada litorânea constituídos por sedimentos marinhos de textura predominantemente arenosa e situados a cotas pouco superiores aos da unidade anterior.

Quanto aos movimentos gravitacionais de massa, destacam-se as seguintes unidades:

- *Muita Alta Suscetibilidade a movimentos de massa naturais e induzidos:* são áreas com relevo de serras e montanhas, de altas amplitudes e declividades de encostas suportadas por rochas do embasamento cristalino, principalmente por granitóides. Os tipos de movimentos mais comuns e importantes para o uso do solo encontrados

nesta unidade são: os escorregamentos planares envolvendo solo e rocha; quedas de blocos e lascas de rochas; rolamento de matacões; instabilizações de depósitos de tálus e; corridas de massa. Recomenda-se análises de estabilidade e de risco das encostas em ocupação, bem como o estabelecimento do Plano Preventivo de Defesa Civil;

- *Alta Suscetibilidade a movimentos de massa naturais e induzidos:* terrenos com relevo de morros com serras restritas, serras alongadas e também montanhas constituídos por rochas do embasamento cristalino predominantemente no Planalto Atlântico. Os tipos de movimentos mais comuns e importantes para o uso do solo encontrados nesta unidade são: os escorregamentos planares envolvendo solo e rocha, principalmente os induzidos, pois ocorrem com maior frequência e causam maiores prejuízos e riscos do que os demais processos Os tipos de movimentos mais comuns e importantes para o uso do solo encontrados nesta unidade são: os escorregamentos planares envolvendo solo e rocha. Recomenda-se o mapeamento de risco em escala de detalhe nesta unidade;
- *Média Suscetibilidade a movimentos de massa exclusivamente induzidos:* terrenos em relevo de morros e morrotes com substrato constituído por rochas do embasamento cristalino nos domínios do Planalto Atlântico. Os processos ocorrem quase que exclusivamente a partir de alterações antrópicas nas encostas. Os movimentos deflagrados são, principalmente, escorregamentos planares, associados a taludes de corte e de aterros constituídos de materiais de natureza diversa (solos, entulhos de construção civil, lixo entre outros), portanto comuns em áreas de expansão urbana em encostas. Recomenda-se a adequação das técnicas e das normas urbanísticas vigentes aos terrenos onde a ocupação vem sendo incrementada, principalmente em aspectos que envolvem movimentação de terra, drenagem e obras de estabilização.

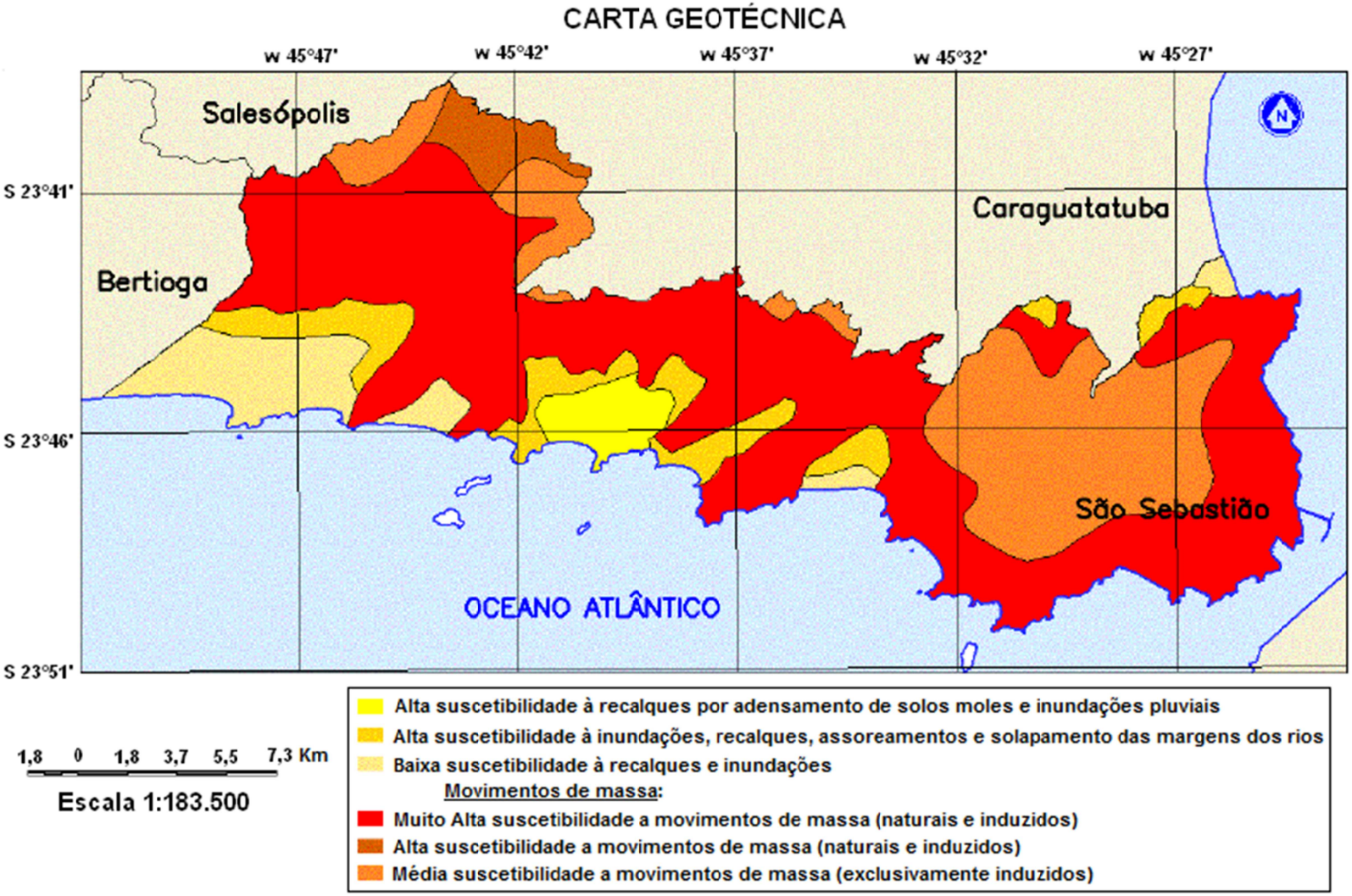

Figura 4.6 – Carta Geotécnica de São Sebastião – SP (modificado de RODRÍGUEZ, 2005). Fonte: IPT, 1994.

4.1.5. Uso e cobertura do solo

Conforme o Projeto MAVALE - Macrozoneamento da Região do Vale do Paraíba e Litoral Norte do Estado de São Paulo (KURKDJIAN *et. al.*, 1992) e também o Mapa de Uso e Cobertura do Solo de São Sebastião (RODRÍGUEZ, 2000), o município apresenta os seguintes tipos de uso e cobertura do solo, indicados na Figura 4.7: Floresta, Restinga, Áreas Degradadas, Pastagem e/ou Campo Antrópico, Capoeira, Solo Exposto, Afloramento Rochoso, Culturas, Praia, Áreas Desmatadas, Área Urbana, Sombra de Floresta e Água.

Na área de planalto, a cobertura vegetal é dominada pela Mata Atlântica permanecendo ainda bem preservada, principalmente nas encostas mais elevadas (CRUZ, 1974).

Nas escarpas da Serra do Mar, a vegetação é subdividida em duas formações florestais principais: mata de encosta, que possui árvores altas com dossel descontínuo; e mata de altitude, que ocorre acima de 1100 m (OKIDA, 1996).

Segundo RODRIGUÉZ (2000), a classe floresta é representada por domínios da Mata Atlântica nas áreas de planalto e das escarpas de Serra do Mar. Essa classe é a mais representativa no município, com aproximadamente 60 % de ocupação do solo.

A classe vegetação de restinga localiza-se em áreas de transição entre o ambiente marinho e continental formando ecossistemas, onde as características fisiográficas do terreno e os fatores atuantes são responsáveis pelo desenvolvimento de uma grande diversidade de tipos de florestas desde as arbustivas até as herbáceas (MAZZOCATO, 1998). Essa classe de uso do solo ocupa aproximadamente 10% da área municipal (RODRIGUÉZ, 2000).

A “vegetação de restinga” também é denominada de “vegetação de planície costeira (exceto manguezal) e baixa-média encosta” (SOUZA, 2006).

As áreas classificadas como sendo pastagem e/ou campo, representam mais ou menos 2% do município (RODRIGUÉZ, 2000). As áreas de pasto correspondem a algum tipo de atividade pecuária, apresentando vegetação rasteira com predominância de gramíneas e pastagens ou arbustos. As áreas de campo possuem pouca vegetação.

As áreas urbanas ocupam cerca de 8 a 10% do município (RODRIGUÉZ, 2000). São Sebastião apresenta nítida diferença de dinâmica de uso e ocupação do solo entre duas porções denominadas: norte (de Guaecá até o limite com o município de Caraguatatuba) e sul (de Boracéia até Toque-Toque Grande). Essa diferença é resultado dos processos de

desenvolvimento econômico e de ocupação urbana no município. Na porção norte, nos bairros da Topolândia e do Engenho e ao longo de drenagens no Bairro São Francisco da Praia, as ocupações são resultado negativo do crescimento urbano acelerado e sem planejamento; e reflexo do modelo de desenvolvimento econômico que ultrapassa o poder de decisão do município (SMA, 1996).

Na porção sul, a ocupação está distribuída de forma esparsa correspondendo a áreas próximas às praias e em grandes áreas que adentram o continente. É o caso dos sertões de Cambury e Maresias; e das praias da Baleia, Juquehy, Juréia e Boracéia, que possuem extensas áreas planas ocupadas e atualmente em processo de expansão.

As áreas degradadas, classificadas por RODRÍGUEZ (2000), são aquelas que apresentam regeneração da vegetação após a ação antrópica.

Nas planícies costeiras, de acordo com OKIDA (1996) ocorre extração de areia com portos de pequeno porte, como também exploração de saibro e rocha na base das encostas da serra e dos morros isolados, contribuindo para o aumento da degradação do solo.

As classes de ocupação do solo tais como: afloramento rochoso, áreas desmatadas e culturas mistas (bananas, milho e berinjela) representam menos de 1% do município.

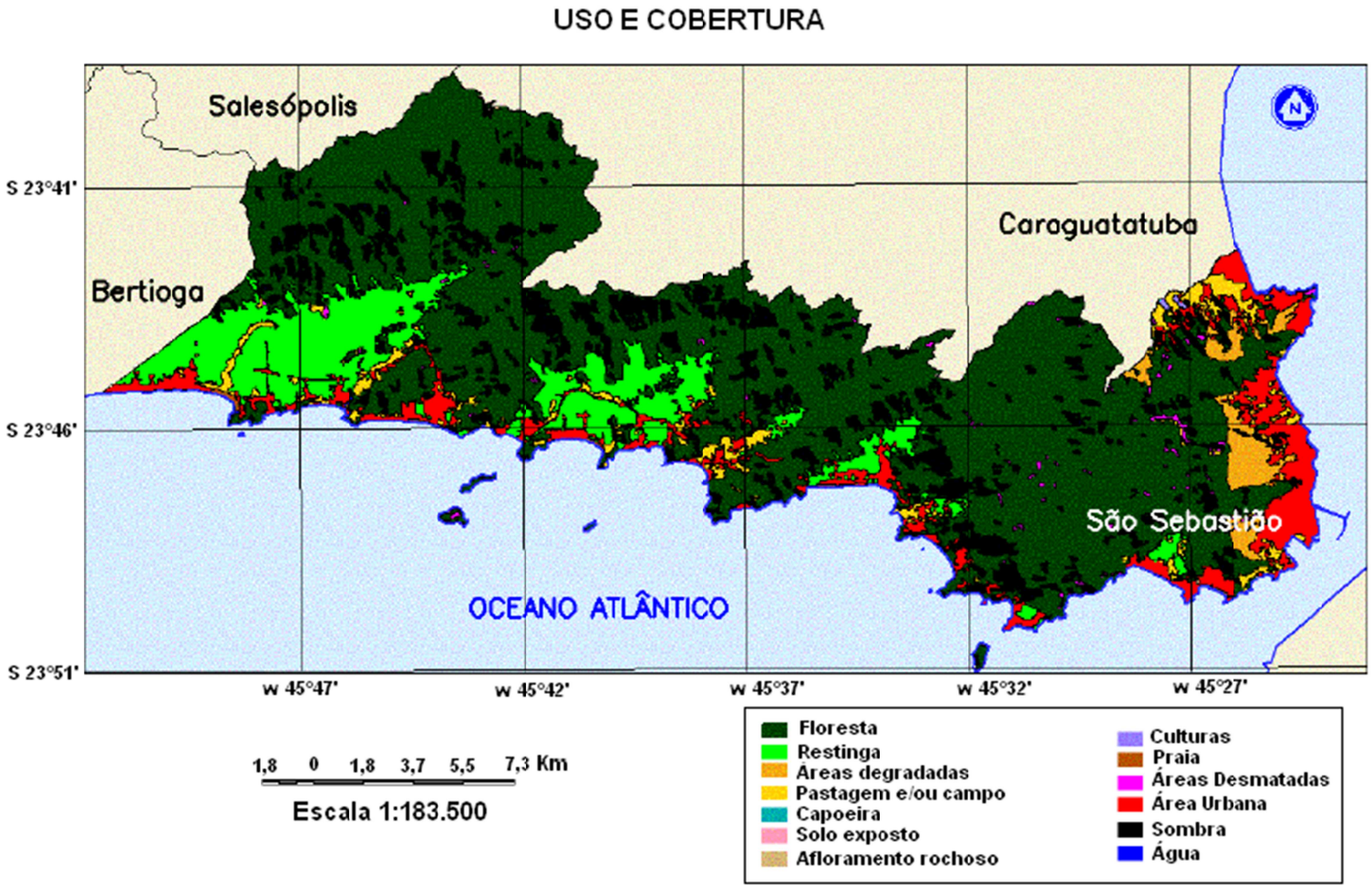

Figura 4.7 – Carta de Uso e Cobertura do solo de São Sebastião – SP (modificado de RODRÍGUEZ, 2005). Fonte: RODRÍGUEZ, 2000.

4.2. Caracterização geral das áreas de risco selecionadas para aplicação do Método AHP

A caracterização das áreas de risco foi realizada por meio de investigações de campo, ou seja, investigações de superfície; identificando os condicionantes naturais e induzidos dos processos de escorregamentos, os indícios de seu desenvolvimento, bem como as evidências de instabilidade. A listagem de controle definida por CERRI (2006) e apresentada na Tabela 2.6 (Capítulo 2, item 2.3.3, na página 33) também contribuiu para a caracterização das áreas.

Conforme mencionado no Capítulo 3 (item 3.3, na página 50), a seleção das seis áreas de risco do município a serem mapeadas aplicando o Método AHP foi norteada pelas recomendações da "Carta de Risco a Movimentos de Massa e Inundação" (SMA, 1996).

A localização das seis áreas no município está indicada na Figura 4.1b (no Capítulo 4, página 61). Estas áreas são: Topolândia, Toque-Toque Pequeno, Vila Baiana, Juquehy, Itatinga e Itatinga/Topolândia, descritas a seguir.

4.2.1. Área 1 – Topolândia

Esta área situa-se próxima ao centro de São Sebastião, tendo como acesso principal a Rua José Passini. É caracterizada por um núcleo de ocupação situado à meia encosta. À montante desse núcleo, a vegetação é densa e arbórea, com árvores de médio e grande porte. Nesta parte da encosta ocorre a presença de afloramentos rochosos em forma de paredões, conforme indicado na Figura 4.8.

Neste núcleo a ocupação é densa no sopé da encosta tornando-se esparsa em direção à porção superior, onde a declividade é mais acentuada.

Figura 4.8 – Vista geral da ocupação da Área 1 – Topolândia (Foto: Acervo IG-SMA, 2005).

Os tipos de materiais encontrados correspondem a solo saprolítico, depósitos naturais (colúvios) e presença de blocos rochosos.

De modo geral, a ocupação ocorreu através da realização de cortes em taludes de solo e também na base de blocos rochosos.

A altura máxima dos taludes de corte em solo observada na área é de 3,5 metros de altura (Figura 4.9).

Figura 4.9 – Talude de corte em solo com aproximadamente 3,5 metros de altura (Foto: Acervo IG-SMA, 2005).

Na porção superior da ocupação há moradias em “madeirite”, construídas encostadas em blocos rochosos imersos parcialmente em solo (Figura 4.10). Esses blocos tem forma cúbica a arredondada, com dimensões métricas e apresentam pelo menos uma família de fratura. Em alguns pontos observa-se que estes blocos foram remobilizados de porções superiores da encosta (depósitos naturais).

Na porção média e inferior da ocupação, as moradias, na sua maioria, são em alvenaria. Há presença de matacões, em menor quantidade em relação a porção superior.

Figura 4.10 – Casa em “madeirite” construída em meio a presença de blocos rochosos parcialmente imersos em solo (Foto: Acervo IG-SMA, 2005).

Em relação a presença de água, em toda a região de encostas no município é comum a captação de água de nascentes e cursos d’água por meio de mangueiras até uma caixa d’ água instalada próximo à moradia (Figura 4.11). Normalmente, essa caixa d’água abastece no máximo duas moradias. As mangueiras percorrem grandes distâncias até chegaram à caixa d’ água (Figuras 4.11a, 4.11b e 4.11d) e nesse trajeto é comum ocorrerem vazamentos, principalmente nas emendas, realizadas com fitas de borracha e arame (Figura 4.11c). As fotos da Figura 4.11 são ilustrativas e pertencem a área de Juquehy, mas há ocorrência deste sistema de captação em todas as áreas mapeadas.

A rede de esgoto nas áreas de encosta, de modo geral, é precária. Contemplando apenas as áreas da base das encostas. No meio e topo das encostas é comum a realização de fossas negras.

Figura 4.11 – Sistema de captação de água nas encostas. (a) condução da água por meio de mangueiras; (b) captação em curso d'água; (c) emenda realizada com borracha e arame; (d) mangueira abastecendo a caixa d'água. (Fonte: Acervo PMSS, 2009).

Os processos esperados para essa área são: queda/desplacamento de blocos rochosos e escorregamentos em taludes de corte.

4.2.2. Área 2 – Toque-Toque Pequeno

Esta área está localizada próximo à Rodovia Rio-Santos (SP 55) no km 14 – sentido Santos, onde destacam-se três núcleos de ocupações em situações de risco. O primeiro núcleo acompanha o eixo principal da Rua Adinal Castilho Batista, o segundo acompanha a Rua Eleodório Marcelino de Matos e o terceiro núcleo situa-se próximo à rodovia SP 55, conforme mostra a Figura 4.12.

Figura 4.12 – Localização da área 2 situada no Bairro de Toque-Toque Pequeno próxima à Rodovia SP 55 km 14. (Fonte: Acervo PMSS, 2001).

No primeiro e segundo núcleos foram observados taludes de corte em depósitos naturais (colúvios), com no máximo 3 metros de altura. A maioria das moradias foi construída em alvenaria (Figuras 4.13 e 4.14).

Figura 4.13 - Casas construídas em alvenaria – núcleo de ocupação ao longo do eixo principal da Rua Eleodório M. de Matos (Fonte: Acervo IG-SMA, 2005).

A Figura 4.14 mostra vários blocos rochosos parcialmente imersos em solo, em terreno com declividade acentuada.

Figura 4.14 - Casas construídas em alvenaria sobre depósitos de colúvio – núcleo de ocupação ao longo do eixo principal da Rua Adinal Castilho Batista (Fonte: Acervo IG-SMA, 2005).

O núcleo de ocupação próximo à Rodovia SP-55 localiza-se no sopé da encosta, onde a declividade é menos acentuada que nos outros dois núcleos, com aproximadamente 30°. Os taludes de corte apresentam altura máxima de 4 metros. A Figura 4.15 apresenta parte da ocupação onde as moradias foram construídas em taludes de corte e aterro.

Figura 4.15 – Moradias em alvenaria construídas em taludes de corte na base da encosta, próximo à Rodovia SP-55 km 14. (Fonte: Acervo IG-SMA, 2005).

Os tipos de materiais encontrados na área foram depósitos naturais (colúvio), solo e blocos rochosos.

Os processos esperados para essa área são: escorregamentos rasos de solo em encostas naturais e escorregamentos de solo em taludes de corte.

4.2.3. Área 3 – Vila Baiana – Barra do Sahy

Esta área está localizada próxima à Rodovia SP 55- sentido Santos, com acesso pelas Ruas Manoel Neto e Ricardo Queiroz. É conhecida por Vila Baiana (Figura 4.16).

Figura 4.16 – Vista geral da ocupação em encosta denominada de Vila Baiana (Fonte: Acervo IG-SMA, 2005).

Na Vila Baiana a ocupação na porção superior é consolidada e densa (Figura 4.16). Na base da encosta a ocupação está em expansão, em fase de consolidação.

Observou-se o mesmo sistema de captação de água mostrado na Figura 4.11. Ocorre a presença de mangueiras com vazamentos.

Há uma moradia (Figura 4.17) construída sobre depósito antrópico de encosta, ou seja, aterro composto por solo e restos de entulhos de construção. Esta moradia apresenta feições de instabilidade, tais como: trincas no piso (Figura 4.18) e paredes e; cicatriz de escorregamento no aterro (Figura 4.19).

Figura 4.17 – Moradia indicada com a seta azul, construída sobre aterro misto (Fonte: Acervo IG-SMA, 2009).

Figura 4.18 – Trincas no piso da varanda da moradia (Fonte: Acervo IG-SMA, 2009).

Figura 4.19 – Cicatriz de escorregamento em aterro misto (Fonte: Acervo IG-SMA, 2009).

Na base da encosta (Figura 4.20), a ocupação está em fase de consolidação e há probabilidade de ocorrer escorregamentos em solos rasos na encosta natural.

Figura 4.20 – Ocupação em fase de consolidação situada na base da encosta (Fonte: Acervo IG-SMA, 2009).

Os tipos de materiais observados na área são: solo residual e material misto de aterro (solo e entulho).

Os processos esperados para a área da Vila Baiana são: escorregamentos de solo raso em encosta natural e; escorregamentos em taludes de corte e aterro.

4.2.4. Área 4 – Juquehy

Na área de Juquehy foram individualizados quatro núcleos de ocupação em situações de risco, conforme indicado na Figura 4.21.

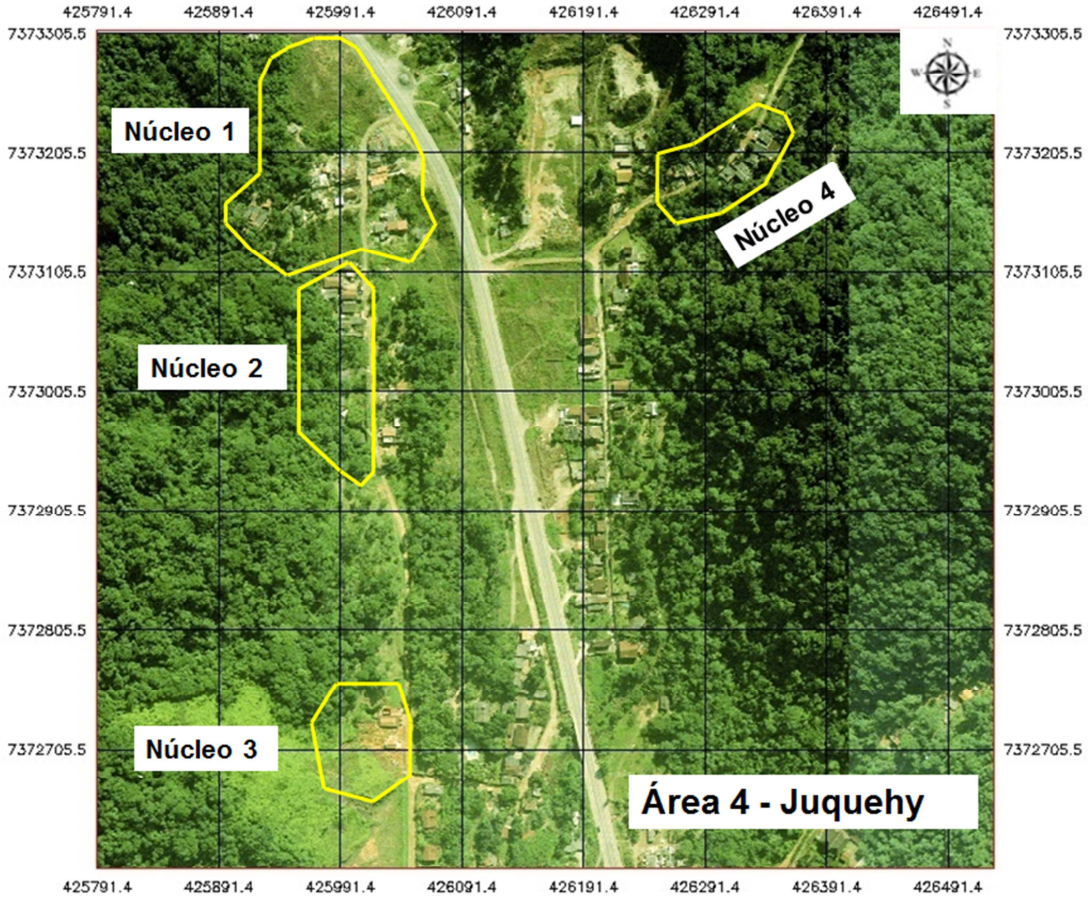

Figura 4.21 - Localização da Área 4 em Juquehy, com a indicação dos quatro núcleos. (Fonte: Acervo PMSS, 2001).

Os núcleos de ocupação em situações de risco a escorregamentos, identificados na Área de Juquehy são descritos a seguir:

- O primeiro núcleo refere-se a um corpo de tálus, tendo como acesso a Rodovia SP-55 no km 178, sentido Rio de Janeiro (Figura 4.21).

Neste núcleo a ocupação é consolidada, com aproximadamente 60 moradias construídas em alvenaria e em “madeirite” (contagem realizada em campo, no ano de 2009). Na Figura 4.21 não estão representadas as 60 moradias, pois a imagem é do ano de 2001, portanto não está atualizada.

Existem registros recorrentes de escorregamentos de solo e rocha neste núcleo. O IG-SMA registrou atendimentos nos meses de julho de 2005 (03 moradias afetadas); agosto de 2008 e outubro de 2009 (05 moradias afetadas). A Figura 4.22 mostra dois escorregamentos registrados em outubro de 2009.

Figura 4.22 – Ocorrências de escorregamentos registradas em outubro de 2009. (a) escorregamento em depósito de tálus – área sem ocupação; (b) escorregamento de solo atingindo parcialmente uma moradia (Fonte: Acervo PMSS, 2009).

No depósito de tálus ocorre processo de rastejo com deflagração acelerada, devido a evidências de movimentação do terreno observadas em vários locais (moradias e solo). Esses indícios de instabilidade são: trincas em solo e moradias (paredes e pisos), presença de árvores inclinadas, cicatrizes de escorregamentos, além da observação da rodovia com guia sendo recoberta por material movimentado. Esses indícios ocorrem em grande número e magnitude.

A Figura 4.23 mostra o processo de rastejo no depósito de tálus que avança em direção ao pavimento asfáltico da rodovia.

Figura 4.23 – Seta vermelha indica depósito de tálus avançando sobre o pavimento asfáltico da Rodovia SP 55, no km 178 (Fonte: Acervo IG-SMA, 2009).

O processo de rastejo é lento, podendo envolver grandes massas de materiais, cujo deslocamento resultante ao longo do tempo é mínimo (milímetro a centímetro por ano), porém, o desconfinamento com a execução de cortes nos taludes e as ocorrências de escorregamentos aceleram tal processo que pode evoluir para escorregamentos de grande porte, causando danos graves a pessoas e bens.

Portanto, tipo de material principal que compõem o solo identificado nos trabalhos de campo foram os depósitos naturais de encosta do tipo tálus.

Os taludes de corte e aterro atingem no máximo de 3 metros e 1 metro de altura, respectivamente. Observaram-se vários pontos de surgência de água nesses taludes. Além disso, ocorrem vazamentos de água nas mangueiras de captação.

Os processos esperados para este núcleo de ocupação no depósito de tálus são: rastejo e escorregamentos em taludes de corte e em taludes de aterro.

- O segundo núcleo de ocupação, também está situado próximo à Rodovia SP 55, sentido Rio de Janeiro, conforme indicado na Figura 4.21.

  Trata-se de ocupação na base de encosta natural (Figura 4.24) apresentando vegetação arbórea e arbustiva de médio e grande porte.

Os taludes de corte possuem altura aproximada de 4 metros. As distâncias das moradias aos taludes de corte variam de 0 a 1 metro. O tipo de material exposto nos cortes é principalmente, solo residual.

O tipo de processo esperado é escorregamento de solo raso em encosta natural.

Figura 4.24 – Moradia construída na base de encosta natural (Fonte: Acervo IG-SMA, 2009).

- O terceiro núcleo de ocupação tem o mesmo acesso do núcleo 2 e situa-se também na base de encosta, mas trata-se de antiga área de retirada de saibro (área de empréstimo). Esta área é recoberta por vegetação rasteira (Figura 4.25).

  As moradias foram construídas muito próximas a taludes de corte em solo residual. Esses taludes atingem 4 a 6 metros de altura.

  O tipo de processo esperado é escorregamento em taludes de corte.

Figura 4.25 – Ocupação na base da encosta de antiga área de retirada de saibro (Foto: Acervo IG-SMA, 2009).

- O quarto núcleo de ocupação em risco de escorregamentos situa-se próximo tem a Rodovia SP-55 no km 178, sentido Santos (Figura 4.21). Tem como acesso principal a travessa denominada “Rua da Sabesp”. É caracterizado por moradias em alvenaria, com taludes de corte em solo exposto, com altura de 3 a 5 metros e declividade excessiva (Figura 4.26a e 4.26b).

  Na Rua da Sabesp há sistema de coleta de esgoto, assim as águas servidas provenientes das moradias são conduzidas por tubulações até o sistema principal.

  O tipo de processo esperado é escorregamento de solo em talude de corte.

Figura 4.26 – Área de Juquehy indicando o quarto núcleo de ocupação. (a) Talude de corte na frente da moradia; (b) Talude de corte com altura e declividade excessiva nos fundos da moradia (Fonte: Acervo IG-SMA, 2005).

4.2.5. Área 5 - Itatinga

A Área de Itatinga tem como acesso principal a travessa Júlio Prestes. A ocupação está em expansão, em fase de consolidação.

As moradias foram construídas em alvenaria e algumas estão situadas em linhas de drenagem natural, em encosta com declividade de aproximadamente 40°.

Os taludes de corte apresentam no máximo 5 metros de altura (Figuras 4.27 e 4.28) e os taludes de aterro 1 m de altura.

A cobertura do solo é urbana, com solo exposto nos taludes de corte e vegetação rasteira nas encostas naturais.

Os tipos de materiais presentes são: solo residual, rocha alterada nos taludes de corte e solo em aterro.

Nos taludes de corte em rocha alterada foram observados alguns pontos de surgência de água. Em alguns desses taludes a estrutura geológica (foliação) apresenta direção e ângulo de mergulho, favoráveis a ocorrência do processo de escorregamentos e/ou desplacamento.

Figura 4.27 – Talude de corte em rocha alterada com moradias construídas na base e topo do talude (Fonte: Acervo IG-SMA, 2009).

Figura 4.28 – Moradia construída no topo de talude de corte em rocha alterada (Fonte: Acervo IG-SMA, 2009).

A Figura 4.29 mostra moradias em construção na base de talude de corte em rocha alterada, realizado pela Prefeitura (PMSS). Há pontos de surgências de água nesses taludes.

Os processos esperados na área são: escorregamentos em encosta natural; queda/desplacamento de blocos rochosos ou lascas e; escorregamentos de solo e rocha em taludes de corte e aterro.

Figura 4.29 – Moradias em construção na base de talude de corte para realização de acesso pela PMSS, indicado por setas amarelas (Fonte: Acervo IG-SMA, 2009).

4.2.6. Área 6 – Itatinga/Topolândia

A Área de Itatinga/Topolândia tem como acesso principal a Rua Vereador Francisco Luciano Nogueira. Assim como na Área 5, a ocupação está em expansão, em fase de consolidação.

A ocupação está situada na base de encosta em forma de "ferradura", com várias linhas de drenagem natural (Figura 4.30). As moradias foram construídas em forma escalonada, em taludes de corte e aterro.

Figura 4.30 – Vista geral da Área 6 – Topolândia/Itatinga (Fonte: Acervo IG-SMA, 2009).

Os taludes de corte ocorrem em rocha alterada e solo residual com altura máxima de 5 metros. Os taludes de aterro são realizados em solo, com altura máxima de 1 metro.

A rocha alterada possui, na maioria dos locais observados, estruturas geológicas (foliação) com ângulo e mergulho favoráveis a ocorrência de escorregamentos. Também foram observadas algumas cicatrizes de escorregamentos.

O registro de escorregamentos mais recente é de janeiro de 2010, quando o IG realizou atendimento emergencial, durante o Plano Preventivo de Defesa Civil (PPDC) devido a um escorregamento em rocha alterada atingindo parcialmente uma moradia (Figura 4.31).

Figura 4.31 - Escorregamento em rocha alterada atingindo os fundos da moradia. A seta amarela indica a cabeceira da cicatriz (Fonte: Acervo IG-SMA, 2010).

Na área de Itatinga/Topolândia, as moradias são construídas encostadas, ou seja, "encaixadas" nos taludes de corte, conforme mostram as Figuras 4.32 e 4.33.

Figura 4.32 - Moradia construída muito próxima à base do talude de corte em rocha alterada (Fonte: Acervo IG-SMA, 2009).

A moradia identificada na Foto 4.32 apresenta cicatrizes de escorregamentos nos taludes de corte situados nos fundos e na lateral. Também foram observados trincas no talude de aterro da frente da moradia. Estes indícios de movimentação do terreno são expressivos, ou seja, capazes de gerar instabilizações e desencadear processos de escorregamentos.

Figura 4.33 - Moradia construída em talude de corte realizado em rocha alterada. Observar foliação da rocha. (Fotos: acervo IG-SMA, 2009).

Os processos esperados para a área 6 são: escorregamentos de solo raso em encosta natural; escorregamentos de solo e rocha em taludes de corte e escorregamentos de solo em aterro.

4.3. Resultados obtidos no mapeamento de risco realizado pelo IG-SMA em 2005

O mapeamento de risco de escorregamentos e inundação realizado pelo Instituto Geológico (IG-SMA) em São Sebastião no ano de 2005 e publicado em 2006 abrangeu processos associados a escorregamentos e inundação, aplicando a metodologia adotada pelo Ministério das Cidades (descrita no Capítulo 2, item 2.3.2.5, na página 31). Este mapeamento de risco foi realizado em 19 áreas-alvo definidas e indicadas previamente pela Comissão Municipal de Defesa Civil (COMDEC). Foram identificadas situações de risco, com graus diferenciados quanto à probabilidade, tipologia dos processos geodinâmicos envolvidos e severidade dos danos potenciais, resultando na delimitação de 72 setores com risco a escorregamentos em encostas. Em relação ao risco associado a escorregamentos no município, os resultados obtidos foram: 3 setores com grau de risco baixo; 27 com grau de risco médio; 25 com grau de risco alto e 17 com grau de risco muito alto (SMA, 2006).

No universo de 19 áreas mapeadas pelo IG-SMA, foram selecionadas as 6 áreas para a aplicação do AHP, as quais correspondem a 20 setores de perigo identificados e

mapeados em 2005. Conforme já mencionado anteriormente, as 6 áreas foram escolhidas devido à criticidade em relação aos processos de escorregamentos. A síntese dos resultados do mapeamento do IG-SMA é apresentada na Tabela 4.1, a seguir.

Tabela 4.1 – Síntese dos resultados das 6 áreas selecionadas do mapeamento de risco do IG-SMA em 2005 (modificado de SMA, 2006).

Área	Bairro	Setor	Processo adverso	Grau de risco	nº de moradias ameaçadas
A1	Topolândia	S1	Escorregamento em solo, queda e rolamento de blocos rochosos	R4 muito alto	05
		S2	Escorregamento em solo, queda e rolamento de blocos rochosos	R3 alto	35
		S3	Escorregamento em solo e rolamento de blocos rochosos	R2 médio	40
		S4	Escorregamento em solo e rolamento de blocos rochosos	R4 muito alto	05
A2	Toque - Toque Pequeno	S1	Escorregamento em solo	R2 médio	12
		S2	Escorregamento em solo e rolamento de blocos rochosos	R2 médio	20
		S3	Escorregamento em solo	R2 médio	11
A3	Vila Baiana Barra do Sahy	S1	Escorregamento em solo/aterro	R3 alto	40
		S2	Escorregamento em solo/aterro	R4 muito alto	01
		S3	Escorregamento em solo	R2 médio	20
A4	Juquehy – SP 55 km178	S1	Escorregamento em tálus	R4 muito alto	70
		S2	Escorregamento em solo	R3 alto	14
A5	Itatinga	S1	Escorregamento em solo	R2 médio	01
		S2	Escorregamento em solo	R2 médio	15
		S3	Escorregamento em solo e queda de blocos rochosos	R3 alto	30
		S4	Escorregamento em solo	R2 médio	18
A6	Topolândia/ Itatinga	S1	Escorregamento em solo	R3 alto	60
		S2	Escorregamento em solo	R4 muito alto	01
		S3	Escorregamento em solo	R2 médio	04
		S4	Escorregamento em solo	R2 médio	34

Os resultados obtidos no mapeamento das 6 áreas de risco na escala 1:3.000 em São Sebastião (SMA, 2006), apresentados na Tabela 4.1 mostram que, dos 20 setores com risco

de escorregamentos, 5 setores apresentam grau de risco muito alto, 5 apresentam grau de risco alto e 10 apresentam grau de risco médio.

A Figura 4.34 ilustra a quantidade e a frequência de ocorrência da classificação de risco em termos de setores (Figura 4.34a) e moradias ameaçadas (Figura 4.34b). Destacam-se os setores com grau de risco médio (R2), os quais representam 50% dos setores mapeados, seguidos dos setores com graus de risco alto (R3) e muito alto (R4), ambos com 25% do total. Os setores com graus de risco médio e alto destacam-se, por apresentarem o maior número de moradias ameaçadas, 175 e 179 moradias, respectivamente, equivalentes a 81% do total de moradias das áreas mapeadas. Os setores com grau de risco muito alto apresentam 82 moradias ameaçadas, equivalendo a 19% do total de moradias.

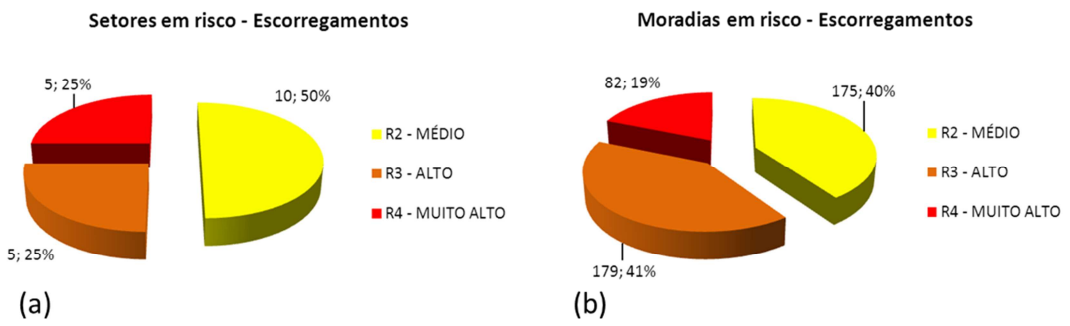

Figura 4.34 – Resultados do mapeamento de risco de escorregamentos realizado pelo IG em 2005 nas 6 áreas selecionadas para aplicação do AHP. (a) quantidade de setores e seus respectivos graus de risco; (b) número de moradias ameaçadas nos setores em risco. (Fonte: IG-SMA, 2006).

Com base nos condicionantes naturais e induzidos dos processos de escorregamentos identificados nas áreas selecionadas para a aplicação do AHP (Capítulo 4, item 4.2, página 77); e na análise do risco realizada em cada setor mapeado pelo IG, serão descritos a seguir, os condicionantes que contribuíram para a atribuição do grau de risco nos setores.

- <u>Risco muito alto (R4)</u>

Dois dos cinco setores com grau de risco muito alto ocorrem no local denominado de Topolândia, onde a suscetibilidade natural do terreno a escorregamentos é muito alta e onde o perigo relaciona-se principalmente à queda/rolamento de blocos rochosos (Figura 4.10). Também são esperados nestes setores, embora com menor frequência, escorregamentos em taludes de corte e de aterro. Estes setores encontram-se predominantemente em meia encosta com alta declividade, localizando-se logo abaixo de encostas naturais com presença expressiva de blocos e matacões.

Nestes setores de risco muito alto, localizados na Topolândia, há vários blocos espalhados em superfície, com características variadas quanto à forma, dimensão, contato entre bloco e talude, proporção de área da base dos blocos em contato com o solo/rocha, grau de alteração do bloco, as quais foram determinantes para análise da instabilidade destes blocos.

O terceiro setor de risco com grau muito alto ocorre em local denominado Vila Baiana, tem pouca expressão em área e abrange 1 moradia ameaçada por perigo de escorregamento do depósito antrópico de encosta (Figura 4.17).

O quarto setor classificado com grau de risco muito alto, encontra-se na área de Juquehy (Figura 4.23) e corresponde a um depósito de tálus, situado na base da encosta. Este setor possui suscetibilidade alta para escorregamentos em solo em depósitos de tálus e processo de rastejo (SMA, 1996). Suscetibilidade alta, de acordo com a Carta de Risco a Movimentos de Massa e Inundação (SMA, 1996) corresponde a áreas onde as condições do terreno são altamente favoráveis ao desencadeamento de escorregamentos e que apresentam dificuldades para a implantação de obras de engenharia e demais atividades humanas. Refere-se a terrenos instáveis cuja ocupação pressupõe a realização de projetos técnicos e estudos detalhados, envolvendo obras de engenharia de grande porte e de custos elevados.

O quinto setor situa-se na área denominada Itatinga/Topolândia, também tem pouca expressão em área e abrange 1 moradia ameaçada por perigo de escorregamentos em taludes de corte e aterro (Figura 4.32). A presença de estrutura geológica desfavorável à estabilidade dos taludes naturais e de corte também contribuíram para a classificação do grau de risco neste setor.

Tais características destes setores com grau de risco muito alto por vezes encontram-se associadas à concentração de água (surgência de água, águas servidas, etc.) e à alta declividade dos taludes, que potencializam a ocorrência da situação de risco.

A característica determinante para a atribuição do grau de risco muito alto nestes setores foi a presença de feições de instabilidade expressivas, já que nestes setores foram constatadas trincas em moradias (Figura 4.18) , degraus de abatimento e cicatrizes de escorregamentos (Figuras 4.19, 4.22 e 4.31). As consequências podem então ser desastrosas, principalmente em setores na Topolândia e em Juquehy onde estão conjugados a suscetibilidade natural alta e os perigos de rolamento de blocos rochosos e de escorregamentos em taludes de corte no depósito de tálus.

Nestes setores verificou-se a existência de 83 moradias em risco (que representam

18% do total), havendo predominância do tipo construtivo em alvenaria, por vezes em condições precárias.

Ainda quanto às características da ocupação presentes nos setores de risco muito alto e que atuam como fatores condicionantes constatou-se que os setores de risco muito alto apresentaram-se parcialmente consolidados, ou seja, estão em processo de ocupação, com média densidade de ocupação e razoável infraestrutura urbana.

Somado a esses condicionantes naturais e antrópicos, destacam-se como potencializadores do perigo o sistema de drenagem e de saneamento deficientes em todos os setores de risco muito alto. Assim, na totalidade dos setores verificou-se a concentração de água de chuva em superfície e vazamento de tubulações. Com frequência um pouco menor foram verificados lançamento de águas servidas em superfície, presença de fossas e ausência ou sistema de drenagem urbana precário, bem como surgência de água em taludes. Ressalta-se ainda que feições de drenagens naturais foram encontradas em um dos setores mapeados.

O tipo de cobertura do terreno também atua como fator que pode induzir a ocorrência de processos de escorregamentos. A maioria dos setores apresentaram cobertura vegetal do tipo rasteira (gramíneas) ou solo exposto (ausência de vegetação); os setores situados na Topolândia apresentaram cobertura vegetal do tipo arbórea e arbustiva situadas à montante.

- Risco alto (R3)

Os 5 setores de risco alto (R3) apresentaram-se distribuídos pelas áreas: na Topolândia (1 setor, com 35 moradias em risco); na Vila Baiana (1 setor, com 50 moradias em risco); em Juquehy (1 setor, com 14 moradias) e em Itatinga (1 setor, com 30 moradias), onde a suscetibilidade natural a escorregamentos é alta (SMA, 1996).

Nestes setores com grau de risco alto predomina o perigo de escorregamento em queda e/ou rolamento de blocos rochosos, taludes de cortes, escorregamento em talude de aterro (Figuras 4.9, 4.26, 4.27, 4.29 e 4.30), os quais, em geral, encontram-se associados em um mesmo setor. Na maioria dos setores há possibilidade de ocorrência de mais de um processo.

Para viabilizar a ocupação nestes locais foram executados taludes de corte e aterros lançados com inclinações predominantemente entre 60° e 90°. A altura dos cortes, na maioria dos casos, é superior à altura das moradias, as quais, comumente, estão posicionadas próximas à base dos taludes de corte. Esta situação de corte e aterro

escalonado (Figura 4.9 e 4.30), num caso extremo, pode desencadear o chamado “efeito dominó“, onde uma moradia afetada por instabilização pode atingir moradias localizadas em cotas inferiores a ela, aumentando a extensão do dano.

É bastante expressivo o número de moradias e, portanto, o número de pessoas ameaçadas nestes setores, envolvendo um total de 189 moradias. Predominam as construções em alvenaria, com padrão construtivo variado.

Quanto às características da ocupação, verificou-se que a maioria dos setores de risco alto encontra-se parcialmente consolidados, ou seja, estão em processo de ocupação, apresentando média densidade de construção (entre 30 e 70% de área construída) e razoável infraestrutura urbana. Em alguns setores na Topolândia, Vila Baiana e Juquehy, a ocupação encontra-se consolidada, com média a alta densidade de construção e infraestrutura básica instalada.

Também contribuem no desencadeamento das situações de risco nestes setores de risco alto os fatores condicionantes relacionados ao sistema de drenagem urbana e de saneamento. Desta forma, foi verificado que na totalidade dos setores ocorre concentração de água de chuva em superfície e inexistência de sistema de drenagem urbana. Foram observados a presença de fossa, o lançamento de águas servidas em superfície e a presença de drenagem natural. Com uma frequência menor constatou-se vazamentos de tubulações.

Atuam na indução das situações de risco as características da cobertura dos setores. Assim, nos taludes de corte ocorre a predominância de solo exposto, seguido de vegetação rasteira.

- <u>Risco médio (R2)</u>

Sete dos dez setores de risco médio estão distribuídos nas seguintes áreas: Topolândia (1 setor, com 40 moradias em risco); Vila Baiana (1 setor, com 30 moradias em risco); Itatinga (3 setor, com 34 moradias) e Topolândia/Itatinga (2 setores, com 38 moradias), onde a suscetibilidade natural a escorregamentos é alta (SMA, 1996). Os três setores restantes ocorrem na área de Toque-Toque Pequeno (3 setores, com 43 moradias), onde a suscetibilidade natural a escorregamentos é média (SMA, 1996). Suscetibilidade média, segundo a Carta de Risco a Movimentos de Massa e Inundação (SMA, 1996), indica áreas onde as condições dos solos, rochas, relevo e de possíveis intervenções já existentes sugerem probabilidade de baixa a moderada para a ocorrência de escorregamentos.

Com base nos resultados do mapeamento de áreas de risco (SMA, 2006), foi

verificado que nestes setores predomina o perigo de escorregamentos rasos em solo nas encostas naturais e o perigo de escorregamentos em taludes de corte e aterro, que em geral ocorrem conjuntamente num mesmo setor. Ressalta-se que o aumento do grau de risco, passando de médio para alto, é uma possibilidade real nos setores onde se associam a suscetibilidade natural alta com mais de um tipo de processo de escorregamento. Não foram observadas feições de instabilidade nestes setores.

Nos setores com grau de risco médio, foram constatadas 185 moradias em risco, a maioria em alvenaria, e apresentando padrão construtivo variável. A exemplo do que ocorre nos setores de risco muito alto e alto, os setores com grau de risco médio apresentaram sistema de drenagem e de saneamento deficientes, bem como características da cobertura vegetal que, em conjunto com os condicionantes naturais descritos, contribuíram para o estabelecimento do grau de risco médio, especialmente onde a suscetibilidade natural é muito alta ou alta. Deste modo, a totalidade dos setores apresentou concentração de água de chuva em superfície, presença de fossa e inexistência de sistema de drenagem urbana. Foram observados o lançamento de águas servidas em superfície e vazamento de tubulações. Adicionalmente, foi expressiva a frequência de setores com porções de área desprovida de vegetação nos taludes de corte e aterro, embora nas encostas naturais verificou-se a existência de vegetações do tipo rasteira, arbórea e arbustiva.

Observa-se que a caracterização e classificação do risco médio não diferem muito da classificação do risco alto. A diferenciação entra as duas classificações é tênue, devido a alta subjetividade utilizada na análise do risco.

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1. Mapeamento de perigo com aplicação do método AHP

Neste item, são apresentados a natureza da encosta/talude, os tipos de processos de escorregamentos e os indicadores de perigo e suas respectivas classes, identificados nos trabalhos de campo e utilizados na aplicação do AHP. Em seguida são apresentados os resultados das matrizes de decisão AHP para os indicadores de perigo de escorregamentos e suas respectivas classes, assim como as respectivas análises de sensibilidade.

5.1.1. Natureza da encosta/talude, tipos de processos e indicadores de perigo

A Tabela 5.1, a seguir, mostra a natureza da encosta/talude, os tipos de processos de escorregamentos e os indicadores de perigo adotados para a aplicação do AHP.

Tabela 5.1 – Natureza da encosta/talude, tipos de processos de escorregamentos e indicadores de perigo.

ENCOSTA/TALUDE	PROCESSOS	INDICADORES DE PERIGO
NATURAL	Escorregamentos rasos em solos	• amplitude; • declividade; • uso/cobertura; • nível d'água; • água superficial; • material; • estrutura geológica; • feições de instabilidade
CORTE	Escorregamentos em solo/rocha	
BLOCO ROCHOSO	Rolamento/Desplacamento	• amplitude; • declividade; • uso/cobertura; • nível d'água; • água superficial; • material; • estrutura geológica; • contato; • plano basal; • forma geométrica; • área de contato; • feições de instabilidade
ATERRO	Escorregamento	• amplitude; • declividade; • uso/cobertura; • nível d'água; • água superficial; • material; • feições de instabilidade

Os indicadores de perigo identificados nos trabalhos de campo e definidos para a aplicação do AHP foram:

- Características morfológicas e morfométricas do terreno: amplitude do relevo (nas encostas naturais), altura (para taludes de corte e aterro) e declividade da encosta ou do talude de corte e aterro;
- Materiais geológicos e perfil de alteração do solo (solo residual, depósito natural, depósito antrópico em aterros, rocha alterada e rocha sã);
- Estruturas geológicas (fraturas, foliações, falhas) e verificação de concordância com os taludes de corte;
- Cobertura/uso do solo (vegetação, cultura/campo, urbana, sem cobertura)
- Surgência do nível d'água;
- Água superficial (concentração e presença de linhas de drenagens naturais);
- Feições de instabilidade (trincas no terreno, muros e em moradias; árvores, postes e cercas inclinados; degraus de abatimento e cicatrizes de escorregamentos).

No caso de rolamento, queda e/ou desplacamento de blocos rochosos, além dos indicadores relacionados acima, foram adotados outros com base em YOSHIKAWA (1997), tais como: o tipo de contato, ângulo do plano basal, forma geométrica e área de contato do bloco com o solo ou rocha.

5.1.2. Classes de Indicadores de Perigo

A seguir são descritas as classes de indicadores de perigo adotadas com base em referências bibliográficas e nos trabalhos de campo desenvolvidos nesta pesquisa e pelo IG-SMA:

5.1.2.1. Amplitude

A Tabela 5.2 indica as classes do indicador de perigo amplitude.

Tabela 5.2 – Classes de amplitude.

ENCOSTA/TALUDE	PROCESSO	AMPLITUDE
NATURAL	ESCORREGAMENTO EM SOLO RASO	(A1) ≤ 10 m (A2) 10<A≤ 20 m (A3) > 20 m
CORTE	ESCORREGAMENTO EM SOLO/ROCHA	(A1) ≤ 2 m (A2) 2<A≤ 5 m (A3) 5<A≤ 10 m (A4) > 10 m
BLOCO ROCHOSO	ROLAMENTO/ DESPLACAMENTO	(A1) ≤ 10 m (A2) 10<A≤ 20 m (A3) > 20 m
ATERRO	ESCORREGAMENTO	(A1) ≤ 2 m (A2) 2<A≤ 5 m (A3) 5<A≤ 10 m (A4) > 10 m

Na encosta natural, a amplitude do relevo indica a diferença entre as cotas da base e do topo do setor, portanto, se restringe aos limites do setor. Nos taludes de corte e de aterro, a amplitude corresponde a altura do talude.

No caso de blocos rochosos, a amplitude foi analisada do mesmo modo que na encosta natural, ou seja, corresponde a diferença de cota entre a base e o topo do setor onde se encontram os blocos. Em taludes de corte em rocha onde existem blocos individualizados, a amplitude corresponde a altura do talude de corte.

Para as encostas naturais e encostas com blocos rochosos, as três classes de amplitude foram divididas de 10 em 10 metros. Nos taludes de corte e aterro, a amplitude variou de 2 a 10 metros de altura.

5.1.2.2. Declividade

As classes de declividade adotadas para a aplicação do AHP estão apresentadas na Tabela 5.3, a seguir.

Tabela 5.3 – Classes de declividade.

ENCOSTA/TALUDE	PROCESSO	DECLIVIDADE
NATURAL	ESCORREGAMENTO EM SOLO RASO	(D1) ≤ 17˚ (D2) 17˚<D≤ 30˚ (D3) D> 30˚
CORTE	ESCORREGAMENTO EM SOLO/ROCHA	(D1) ≤ 17˚ (D2) 17˚<D≤ 30˚ (D3) 30°<D≤ 60˚ (D4) D> 60˚
BLOCO ROCHOSO	ROLAMENTO/ DESPLACAMENTO	(D1) ≤30˚ (D2) 17˚<D≤ 30˚ (D3) 30<D≤ 60˚ (D4) D> 60˚
ATERRO	ESCORREGAMENTO	(D1) ≤ 17˚ (D2) 17˚<D≤ 30˚ (D3) D> 30˚

As classes de declividade apresentadas na Tabela 17 são expressas em graus (°) e foram definidas com base em referências bibliográficas (DEERE & PATTON, 1971 *apud* AUGUSTO FILHO & VIRGILI, 1998; MACEDO, 2001) e nos trabalhos de campo realizados na área de estudo.

Para escorregamentos de solo/rocha em taludes de corte foram definidas quatro classes: abaixo de 17°; entre 17° e 30°; entre 30° e 60° e acima de 60°. O valor de 60° foi escolhido, com base nos trabalhos de campo, sendo observado que, no município de São Sebastião grande parte dos taludes de corte em solo apresentam declividades entre 60° e 90°.

Na análise de blocos rochosos, considerou-se a declividade da encosta onde os blocos estão depositados e as classes foram definidas do mesmo modo que as classes do talude de corte.

Nos taludes de aterro, a classe de declividade máxima foi definida com base na recomendação do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 1991), o qual indica uma declividade máxima de 2:3 (aproximadamente 34º) para aterros construídos de acordo com as normas técnicas (fundação, geometria e compactação).

5.1.2.3. Uso/Cobertura

As cinco classes de uso/cobertura do solo foram adotadas para todos os tipos de processos de escorregamentos, conforme indicado na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 – Classes de uso/cobertura.

ENCOSTA/TALUDE	PROCESSO	USO/COBERTURA
NATURAL	ESC. SOLO RASO	(U1) - ARBÓREA (U2) - ARBUSTIVA (U3) - CAMPO/CULTURA (U4) - COBERTURA URBANA (U5) - SOLO EXPOSTO
CORTE	ESCORREGAMENTO EM SOLO/ROCHA	
BLOCO ROCHOSO	ROLAMENTO/DESPLACAMENTO	
ATERRO	ESCORREGAMENTO	

As classes de uso e cobertura do solo foram definidas conforme as seguintes categorias:

- Arbórea - inclui mata pouco degradada com vegetação arbórea de médio a alto porte;
- Arbustiva - setores com vegetação arbórea de pequeno porte e arbustos;
- Campo/cultura - abrange setores com vegetação rasteira (gramíneas) e/ou áreas de plantio, principalmente bananeiras;
- Área urbana - corresponde a áreas impermeabilizadas por meio de ocupação urbana densa. Pode contribuir de forma desfavorável à estabilidade da encosta, devido a imposição de sobrecarga nos taludes/encosta, principalmente em aterros sem compactação ou em depósitos de tálus;
- Solo exposto - inclui áreas desmatadas.

A cobertura vegetal foi considerada como fator favorável à estabilidade da encosta, de acordo com os estudos de WOLLE (1986).

5.1.2.4. Água superficial e subsuperficial

As classes dos indicadores de perigo: nível d’água e água superficial, foram definidas para todos os tipos de processo de escorregamentos, conforme indicado na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 – Classes do nível d'água e da água superficial.

ENCOSTA/TALUDE	PROCESSO	N.A.	ÁGUA SUPERFICIAL
NATURAL	ESCORREGAMENTO RASO EM SOLO	(NA1) NÃO OBSERVADO (NA2) SURGÊNCIA	(AS1) CONCENTRAÇÃO BAIXA (AS2) CONCENTRAÇÃO MÉDIA (AS3) CONCENTRAÇÃO ALTA (AS4) LINHA DE DRENAGEM
CORTE	ESCORREGAMENTO EM SOLO/ROCHA		
BLOCO ROCHOSO	ROLAMENTO/ DESPLACAMENTO		
ATERRO	ESCORREGAMENTO		

As classes do indicador água superficial foram definidas em:

- Concentração baixa – presença de vazamentos incipientes; presença de sistema de drenagem superficial (calhas, valas, tubulações etc);
- Concentração média – presença de vazamentos significativos em tubulações de abastecimento ou mesmo em tubulações de águas servidas; presença de algum sistema de drenagem superficial;
- Concentração alta – presença de muitos pontos de vazamentos em tubulações de abastecimento ou mesmo em tubulações de águas servidas; ou verificação de ausência de sistemas de águas pluviais, com tubulações lançando águas pluviais e servidas diretamente no talude; presença de fossas negras;
- Linha de drenagem – são feições relacionadas à condição em que o solo tem umidade elevada, podendo atingir a saturação durante os períodos chuvosos. Ressalta-se que esta classe foi definida como condição de concentração de água no solo constantemente elevada, a qual se torna crítica com a instalação de moradias devido a possíveis vazamentos e lançamentos de águas pluviais e servidas na encosta.

As classes do indicador nível d'água (N.A.), o qual representa as águas subsuperficiais na encosta/talude, foram definidas com base na observação de pontos de surgência de água (lençol aflorante) na encosta.

5.1.2.5. Tipo de material que compõem o substrato das encostas/taludes

As classes adotadas para o tipo de material que compõe o solo estão apresentadas na Tabela 5.6, a seguir.

Tabela 5.6 - Classes do tipo de material que compõe o solo.

ENCOSTA/TALUDE	PROCESSO	MATERIAL
NATURAL	ESCORREGAMENTO RASO EM SOLO	(M1) – SOLO RESIDUAL (M2)- DEPÓSITO NATURAL (colúvio/tálus)
CORTE	ESCORREGAMENTO EM SOLO/ROCHA	(M1) – SOLO RESIDUAL (M2)- DEPÓSITO NATURAL (colúvio/tálus) (M3) - ROCHA ALTERADA (M4) - ROCHA SÃ
BLOCO ROCHOSO	ROLAMENTO/DESPLACAMENTO	
ATERRO	ESCORREGAMENTO	(M1) SOLO (M2) LIXO/ENTULHO (M3) MISTO (solo/lixo/entulho)

As classes do indicador de perigo tipo de material que compõe o substrato das encostas/taludes foram selecionadas com base no perfil de alteração descrito por VAZ (1986) e nas observações realizadas durante os trabalhos de campo. Entretanto, outra unidade do perfil de solo foi identificada e denominada de depósitos naturais, que são os solos coluviais e os corpos de tálus.

Conforme apresentado na Tabela 5.6, para os processos de escorregamentos rasos em encostas naturais foram definidas duas classes de materiais: solo residual e depósitos naturais. Para os processos de escorregamentos em taludes de corte em solo/rocha e de rolamento/desplacamento de blocos rochosos foram adotadas quatro classes de materiais, são elas: solo residual, depósito natural (tálus/colúvio), rocha alterada e rocha sã. Nos processos de escorregamentos em taludes de aterro foram definidas três classes de materiais: solo, lixo e material misto (solo, lixo e entulho).

5.1.2.6. Estrutura Geológica

A Tabela 5.7 mostra as classes do indicador de perigo estrutura geológica para os processos de escorregamento em encostas naturais; escorregamentos em taludes de corte em solo e/ou rocha; desplacamento/rolamento de blocos rochosos.

Tabela 5.7 – Classes da estrutura geológica.

ENCOSTA/TALUDE	PROCESSO	ESTRUTURA GEOLÓGICA
NATURAL	ESCORREGAMENTO RASO EM SOLO	(NO) - NÃO OBSERVADA (E1) - FAVORÁVEL À ESTABILIDADE (E2) - DESFAVORÁVEL À ESTABILIDADE
CORTE	ESCORREGAMENTO EM SOLO/ROCHA	
BLOCO ROCHOSO	ROLAMENTO/DESPLACAMENTO	(NO)- NÃO OBSERVADA (E1) - 1 FAMÍLIA DE FRATURA (E2) – 2 OU MAIS FAMÍLIAS DE FRATURAS

Ressalta-se que no método de mapeamento de risco adotado pelo Ministério das Cidades, as análises de risco realizadas nos trabalhos de campo são expeditas, portanto a seleção das classes do indicador de perigo estrutura geológica foi simplificada, sem prejudicar a avaliação técnica.

A classificação do indicador estrutura geológica, quando observada em campo, foi efetuada em duas classes: favorável à estabilidade e desfavorável à estabilidade. Esta classificação foi realizada com base nos critérios definidos por HOEK & BRAY (1977) para rupturas planares e por RIEDEL *et. al*. (1995).

De acordo com RIEDEL *et. al*. (1995), a condição desfavorável à estabilidade pode tornar-se favorável, quando ocorrer associação de outra família de descontinuidades que desempenha papel de liberação de massa instável. Esta situação ocorre quando agentes erosivos alteram a geometria original do talude, criando paredes praticamente verticais, dando liberdade de movimento a blocos inicialmente confinados.

De forma a abranger estas situações que envolvem mais de uma família de descontinuidades, gerando desplacamento e/ou rolamento de blocos, ou mesmo rupturas em cunha, foram adotados critérios com base em YOSHIKAWA (1997) e na ficha de campo para blocos rochosos, definida por YOSHIKAWA, em BRASIL (2007). Assim, as classes do indicador estrutura geológica para os processos de desplacamento/rolamento de blocos foi estabelecida conforme o número de famílias de descontinuidades presentes no maciço ou no bloco rochoso, conforme apresentado na Tabela 5.7.

A classe da estrutura geológica definida como “não observada” representa casos em que, por exemplo, o bloco rochoso pode estar parcialmente imerso em solo, não sendo possível a verificação da presença de fraturas.

5.1.2.7. Contato, Ângulo do Plano Basal, Forma Geométrica e Área de Contato dos Blocos Rochosos.

A classificação destes indicadores de perigo é apresentada na Tabela 5.8, a seguir.

Tabela 5.8 – Classes de indicadores de perigo específicos para o processo de desplacamento/rolamento de blocos rochosos.

CONTATO	ÂNGULO DO PLANO BASAL	FORMA GEOMÉTRICA	ÁREA DE CONTATO
(C1) ROCHA/ROCHA liso (C2) ROCHA/ROCHA preenchido (C3) ROCHA/SOLO	(B1) 0<P≤15° (B2) 15°<P≤35° (B3) >35°	(F1) LASCA (F2) LAJE (F3) ARREDONDADO OU CÚBICO	(P1) ÁREA MAIOR EM CONTATO (P2) ÁREA MENOR EM CONTATO

Os indicadores de perigo específicos para o processo de rolamento/desplacamento de blocos rochosos também foram definidos com base em YOSHIKAWA (1997) e na ficha de campo para blocos rochosos, adotada por YOSHIKAWA, em BRASIL (2007). São eles:

- Contato - representa o contato entre o bloco rochoso e a superfície de apoio. Este contato pode ocorrer entre o bloco e rocha; entre o bloco e rocha com a presença de material de preenchimento entre eles e; entre o bloco e solo;
- Ângulo do plano basal – refere-se ao ângulo da superfície de apoio da base do bloco rochoso com a horizontal. Conforme proposto por YOSHIKAWA (1997), os ângulos de 15°e 35° foram definidos com base no ângulo de atrito interno do contato rocha/solo (condição crítica 15°) e contato rocha/rocha (condição crítica, 35°). Por exemplo, se o ângulo do contato for menor que o ângulo de atrito interno do contato rocha/rocha (35°), têm-se condição estável do bloco;
- Forma Geométrica– relaciona-se a forma do bloco: lasca (extremidades finas), laje (largura ou espessura bem menor que o comprimento), cúbico, arredondado. A forma irá influenciar a velocidade e a distância percorrida pelo bloco quando em

movimento e também possibilita determinar o centro de gravidade, para analisar se o bloco rochoso se encontra em equilíbrio instável ou estático (em balanço);

- Área de contato – refere-se área do bloco que está em contato com a superfície de apoio: se é a área maior ou a área menor do bloco.

5.1.3. Matriz de Decisão AHP

As comparações par a par dos indicadores de perigo e suas respectivas classes de atributos com aplicação do AHP, foram realizadas com base na escala de julgamentos de SAATY, a qual varia de 1 a 9 de acordo com a importância do critério. A escala de julgamentos de SAATY foi apresentada no Capítulo 3.

Os julgamentos dos indicadores e suas respectivas classes de atributos foram realizados, pela autora deste trabalho, com base em experiências na identificação e análise dos processos de escorregamentos, por meio de: atendimentos emergenciais realizados durante o Plano Preventivo de Defesa Civil (PPDC), levantamentos de campo em mapeamentos de risco realizados pelo Instituto Geológico (IG-SMA), além de consultas bibliográficas. Os julgamentos paritários realizados para a aplicação do AHP são apresentados no Apêndice A.

As estruturações das matrizes de decisão AHP para os indicadores de perigo e suas classes de atributos, assim como os resultados das análises de sensibilidade (valores da razão de consistência - RC), são apresentados, a seguir e também no Apêndice B.

Lembrando que, o autovetor (vetor prioritário) representa os pesos obtidos, em ordem decrescente de importância, na comparação par a par utilizando o método AHP. A análise dos resultados será discutida a seguir, conforme a natureza da encosta/talude e a tipologia dos processos identificados nos trabalhos de campo realizados na área de estudo.

5.1.3.1. Escorregamento raso de solo em encosta natural

Os indicadores de perigo adotados para o processo de escorregamento em encosta natural foram 07, resultando em 21 comparações par a par na escala de SAATY. Na estruturação da matriz recíproca este número de combinações passa a ser 7 por 7, ou seja, 49 combinações. Essas combinações incluem as comparações entre os próprios critérios, que é igual a unidade e é representada pela diagonal principal da matriz.

A Figura 5.1 apresenta as comparações par a par e a matriz de decisão AHP, assim como os resultados do autovetor (vetor prioritário) e da análise de sensibilidade, representada pela razão de consistência (RC).

Na análise de sensibilidade dos julgamentos dos indicadores de perigo para escorregamentos rasos de solo em encostas naturais, o resultado da razão de consistência (RC) foi de 8,67%, ou seja, abaixo de 10%, conforme recomenda o método AHP. Quando necessário, os julgamentos foram refeitos até atingir a condição (RC < 10%) imposta pelo método.

Cálculos AHP - tamanho 7 x 7			ESCORREGAMENTO RASO DE SOLO EM ENCOSTAS NATURAIS						
Matriz Recíproca									
Indicadores de perigo	Amplitude	Declividade	Uso/cobertura	Nível d' água (NA)	Água superficial	Material	Estrutura Geológica		
Amplitude	1	1/5	1/3	1/3	2	2	5		
Declividade	5	1	3	3	2	5	7		
Uso/cobertura	3	1/3	1	2	2	5	5		
Nível d' água (NA)	3	1/3	1/2	1	3	3	8		
Água superficial	1/2	1/2	1/2	1/3	1	3	5		
Material	1/2	1/5	1/5	1/3	1/3	1	3		
Estrutura Geológica	1/5	1/7	1/5	1/8	1/5	1/3	1		
SOMA	13,20	2,71	5,73	7,13	10,53	19,33	34,00		
Matriz Normalizada							SOMA	AUTOVETOR	
0,076	0,074	0,058	0,047	0,190	0,103	0,147	0,695	9,93%	Amplitude
0,379	0,369	0,523	0,421	0,190	0,259	0,206	2,347	33,52%	Declividade
0,227	0,123	0,174	0,281	0,190	0,259	0,147	1,401	20,01%	Uso/Cobertura
0,227	0,123	0,087	0,140	0,285	0,155	0,235	1,253	17,90%	Nível d' água (NA)
0,038	0,185	0,087	0,047	0,095	0,155	0,147	0,754	10,77%	Água superficial
0,038	0,074	0,035	0,047	0,032	0,052	0,088	0,365	5,21%	Material
0,015	0,053	0,035	0,018	0,019	0,017	0,029	0,186	2,66%	Estrutura Geológica
1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	7,000	100,0%	
	autovalor (λmáx)		7,6867				n =	7	
	índice de consistência (IC)		11,44%						
	razão de consistência (RC)		8,67% < 10%						

Figura 5.1 – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade dos indicadores de perigo para o processo de escorregamento raso de solo em encostas naturais.

O autovetor representa a ordem de importância dos indicadores de perigo no processo de escorregamentos rasos de solo em encostas naturais. Conforme apresentado na Figura 5.1, a ordem de importância dos indicadores é: em primeiro lugar a declividade da encosta, com peso de 33,52% e em segundo o tipo de uso/cobertura (com peso de 20,01%); seguidos da posição do nível d'água (com peso de 17,90%); água superficial (com peso de 10,77%); amplitude (com peso de 9,93%); material (com peso de 5,21%) e estrutura geológica (com peso de 2,66%). Lembrando que a ordem de importância dos indicadores e seus respectivos pesos baseiam-se nos julgamentos realizados na comparação par a par.

Esta ordem de importância dos indicadores de perigo está coerente, visto que em FERNANDES *et al*. (1994) os vários estudos realizados nas regiões da Serra do Mar mostraram que os escorregamentos, especialmente os translacionais, são fortemente

controlados pelo relevo, uma vez que este condiciona a dinâmica hidrológica e, em última análise, as características dos solos.

A cobertura vegetal também tem importância significativa no processo de escorregamento planar em encosta natural. Uma encosta denominada natural significa que não há intervenções na sua forma geométrica, tais como cortes e aterros. Entretanto, esta encosta, por exemplo, pode estar sem cobertura vegetal, com solo exposto, podendo ocorrer processos erosivos e consequentemente, escorregamentos.

A influência das condições hidrológicas é descrita em CARVALHO (1991) e em AUGUSTO FILHO & VIRGILI (1998), indicando como principal mecanismo de deflagração de escorregamentos planares de solo na região da Serra do Mar, a diminuição da coesão aparente do solo por meio do avanço em profundidade da frente de saturação no solo.

Como exemplo, na Figura 5.1, na comparação entre declividade e amplitude; julgou-se a declividade 5 vezes mais importante que a amplitude. De acordo com a escala de SAATY, significa que a declividade é fortemente mais importante que a amplitude.

A importância das classes de atributos dos indicadores de perigo, obtidas por meio da matriz de decisão AHP, representa as condições críticas para a deflagração dos escorregamentos rasos de solo em encostas naturais. É atribuído para essas condições críticas o maior peso, conforme indicado nos resultados das matrizes AHP apresentadas nas Figuras 5.2 a 5.8.

A Figura 5.2 apresenta a matriz de decisão AHP para as classes do indicador de perigo amplitude. As classes de amplitude adotadas para o processo de escorregamento em encosta natural foram 3, resultando em 3 comparações par a par na escala de SAATY. Na estruturação da matriz recíproca foram 9 combinações.

O maior peso, ou seja, a maior importância foi atribuída ao maior valor de amplitude; condição crítica desta classe na deflagração dos escorregamentos. Portanto, a classe de amplitude maior que 20 metros tem peso de 71,32%; seguida da classe de amplitude entre 10 e 20 metros com peso de 22% e da classe de amplitude menor ou igual a 10 metros, com peso de 6,69%.

Na análise de sensibilidade dos julgamentos das classes de amplitude para escorregamentos rasos de solo em encostas naturais, o resultado da razão de consistência (RC) foi de 5,34%.

Cálculos AHP - tamanho 3 x 3			AMPLITUDE				
Matriz Recíproca							
Classes	(A1) ≤10 m	(A2) 10<A≤20 m	(A3) >20 m				
(A1) ≤10 m	1	1/4	1/9				
(A2) 10<A≤20 m	4	1	1/4				
(A3) >20 m	9	4	1				
SOMA	14,00	5,25	1,36				
Matriz Normalizada				SOMA	AUTOVETOR		
	0,071	0,048	0,082	0,201	6,69%	(A1) ≤10 m	
	0,286	0,190	0,184	0,660	22,00%	(A2) 10<A≤20 m	
	0,643	0,762	0,735	2,139	71,32%	(A3) >20 m	
SOMA	1,000	1,000	1,000	3,000	100,0%		
		autovalor (λmáx)	3,0619			n =	3
		índice de consistência (IC)	3,10%				
		razão de consistência (RC)	5,34%	< 10%			

Figura 5.2 – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade para as classes do indicador de perigo amplitude nos escorregamentos rasos de solo em encostas naturais.

A Figura 5.3 apresenta a matriz de decisão AHP para as classes do indicador de perigo declividade. As classes adotadas para este indicador no processo de escorregamento em encosta natural foram 3, resultando em 3 comparações par a par na escala de Saaty. Na estruturação da matriz recíproca foram realizadas 9 combinações.

A maior importância foi atribuída à classe com maior declividade, condição crítica na deflagração dos escorregamentos. Para a classe de declividade com ângulo de inclinação maior que 30°, o peso foi de 71,32%; para declividade entre 17° e 30°, obteve-se peso de 22% e para declividade menor ou igual a 17°, peso de 6,69%.

A razão de consistência para os resultados das comparações na matriz AHP para as classes de declividade foi de 5,34%.

Cálculos AHP - tamanho 3 x 3			DECLIVIDADE				
Matriz Recíproca							
Classes	(D1) ≤17°	(D2) 17°<D≤30°	(D3) D>30°				
(D1) ≤17°	1	1/4	1/9				
(D2) 17°<D≤30°	4	1	1/4				
(D3) D>30°	9	4	1				
SOMA	14,00	5,25	1,36				
Matriz Normalizada				SOMA	AUTOVETOR		
	0,071	0,048	0,082	0,201	6,69%	(D1) ≤17°	
	0,286	0,190	0,184	0,660	22,00%	(D2) 17°<D≤30°	
	0,643	0,762	0,735	2,139	71,32%	(D3) D>30°	
SOMA	1,000	1,000	1,000	3,000	100,0%		
		autovalor (λmáx)	3,0619			n =	3
		índice de consistência (IC)	3,10%				
		razão de consistência (RC)	5,34%	< 10%			

Figura 5.3 – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade para as classes do indicador de perigo declividade nos escorregamentos rasos de solo em encostas naturais.

A matriz de decisão AHP para as classes do indicador de perigo uso/cobertura é indicada na Figura 5.4. Foram adotadas 5 classes de atributos para este indicador de perigo, resultando em 10 comparações par a par na escala de Saaty. Na estruturação da matriz recíproca foram realizadas 25 combinações.

A maior importância foi atribuída à classe sem cobertura, ou seja, com solo exposto, representando condição crítica na deflagração dos escorregamentos. Os resultados do autovetor, em ordem de importância das classes do indicador de perigo uso/cobertura foram: solo exposto (com peso de 54,20%); cobertura urbana (com peso de 21,16%); campo/cultura (com peso de 14,22%); cobertura arbustiva (com peso de 6,70%) e cobertura arbórea (com peso de 3,72%).

A razão de consistência das comparações das classes de uso/cobertura na matriz AHP foi de 8,78%.

Cálculos AHP - tamanho 5 x 5			USO/COBERTURA					
Matriz Recíproca								
Classes	(U1) - ARBÓREA	(U2) - ARBUSTIVA	(U3) - CAMPO/CULTURA	(U4) - COBERTURA URBANA	(U5) - SOLO EXPOSTO			
(U1) - ARBÓREA	1	1/3	1/5	1/5	1/9			
(U2) - ARBUSTIVA	3	1	1/3	1/5	1/8			
(U3) - CAMPO/CULTURA	5	3	1	1/2	1/5			
(U4) - COBERTURA URBANA	5	5	2	1	1/4			
(U5) - SOLO EXPOSTO	9	8	5	4	1			
SOMA	23,00	17,33	8,53	5,90	1,69			
Matriz Normalizada						SOMA	AUTOVETOR	
	0,043	0,019	0,023	0,034	0,066	0,186	3,72%	(U1) - ARBÓREA
	0,130	0,058	0,039	0,034	0,074	0,335	6,70%	(U2) - ARBUSTIVA
	0,217	0,173	0,117	0,085	0,119	0,711	14,22%	(U3) - CAMPO/CULTURA
	0,217	0,288	0,234	0,169	0,148	1,058	21,16%	(U4) - COBERTURA URBANA
	0,391	0,462	0,586	0,678	0,593	2,710	54,20%	(U5) - SOLO EXPOSTO
SOMA	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	5,000	100,0%	
		autovalor (λmáx)	5,3932			n =	5	
		índice de consistência (IC)	9,83%					
		razão de consistência (RC)	8,78% < 10%					

Figura 5.4 – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade para as classes do indicador de perigo uso/cobertura nos escorregamentos rasos de solo em encostas naturais.

A Figura 5.5 indica a matriz de decisão AHP para as duas classes de atributos do indicador do perigo nível d'água. Observa-se que não há possibilidade de se realizar a análise de sensibilidade, pois o índice de consistência aleatória (CA), apresentado no Capítulo 2 (item 2.4.1.2., página 45), tem valor nulo em matrizes de ordem 1 e ordem 2. Logo, a razão de consistência (RC) representada pela relação entre o índice de consistência (IC) e o índice de consistência aleatória (CA) será indeterminada.

O resultado do autovetor em ordem de importância foi: peso de 90% para a observação de surgência do nível d'água na encosta e 10% para a não observação do nível d'água.

Cálculos AHP - tamanho 2 x 2			NÍVEL D'ÁGUA				
Matriz Recíproca							
Classes	(NA1) NÃO OBSERVADO	(NA2) SURGÊNCIA					
(NA1) NÃO OBS.	1	1/9					
(NA2) SURGÊNCIA	9	1					
SOMA	10,00	1,11					
Matriz Normalizada			SOMA	AUTOVETOR			
	0,100	0,100	0,200	10,00%	(NA1) NÃO OBSERVADO		
	0,900	0,900	1,800	90,00%	(NA2) SURGÊNCIA		
SOMA	1,000	1,000	2,000	100,0%			
		autovalor (λmáx)	2,0000			n =	2
		índice de consistência (IC)	0,00%				
		razão de consistência (RC)	#DIV/0!	< 10%			

Figura 5.5 – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade para as classes do indicador de perigo nível d'água nos escorregamentos rasos de solo em encostas naturais.

Em relação às classes do indicador de perigo água superficial, de acordo com os julgamentos paritários, obteve-se a matriz de decisão AHP indicada na Figura 5.6. O resultado do autovetor em ordem de importância foi: linha de drenagem com peso de 61,57%; seguida da concentração alta com peso de 24,09%; concentração média com 9,85% e concentração baixa com 4,48%.

Conforme observa-se na Figura 5.6, o resultado da razão de consistência para a matriz de decisão AHP para as classes de água superficial foi 9,58%, indicando coerência nos julgamentos paritários.

Cálculos AHP - tamanho 4 x 4		ÁGUA SUPERFICIAL					
Matriz Recíproca							
Classes	(AS1) - CONCENTRAÇÃO BAIXA	(AS2) - CONCENTRAÇÃO MÉDIA	(AS3) - CONCENTRAÇÃO ALTA	(AS4) - LINHA DE DRENAGEM			
(AS1) - CONC. BAIXA	1	1/3	1/7	1/9			
(AS2) - CONC. MÉDIA	3	1	1/3	1/7			
(AS3) - CONC. ALTA	7	3	1	1/4			
(AS4) - LINHA DE DREN.	9	7	4	1			
SOMA	20,00	11,33	5,48	1,50			
Matriz Normalizada					SOMA	AUTOVETOR	
	0,050	0,029	0,026	0,074	0,179	4,48%	(AS1) - CONC. BAIXA
	0,150	0,088	0,061	0,095	0,394	9,85%	(AS2) - CONC. MÉDIA
	0,350	0,265	0,183	0,166	0,964	24,09%	(AS3) - CONC. ALTA
	0,450	0,618	0,730	0,665	2,463	61,57%	(AS4) - LINHA DE DRENAGEM
SOMA	1,000	1,000	1,000	1,000	4,000	100,0%	
		autovalor (λmáx)	4,2587			n =	4
		índice de consistência (IC)	8,62%				
		razão de consistência (RC)	9,58%	< 10%			

Figura 5.6 – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade para as classes do indicador de perigo água superficial nos escorregamentos rasos de solo em encostas naturais.

A Figura 5.7 mostra, além das comparações par a par da matriz de decisão, os resultados obtidos para autovetor das classes do tipo de material do substrato, em ordem de importância. Logo, para o depósito natural (tálus/colúvio) atribuiu-se peso de 87,50% e para o solo residual, 12,50%; indicando que a classe do depósito natural (tálus/colúvio)

representa condição crítica para a deflagração dos escorregamentos rasos de solo em encostas naturais.

Novamente, neste caso, não foi possível realizar a análise de sensibilidade dos julgamentos, pois a matriz de decisão AHP é de segunda ordem.

Cálculos AHP - tamanho 2 x 2			MATERIAL				
Matriz Recíproca							
Classes	(M1) - SOLO RESIDUAL	(M2) - DEPÓSITO NATURAL					
(M1) - S.RESIDUAL	1	1/7					
(M2) - DEP.NATURAL	7	1					
SOMA	8,00	1,14					
Matriz Normalizada			SOMA	AUTOVETOR			
	0,100	0,129	0,229	12,50%	(M1) - SOLO RESIDUAL		
	0,700	0,900	1,600	87,50%	(M2) - DEP.NATURAL		
SOMA	0,800	1,029	1,829	100,0%			
		autovalor (λmáx)	2,0000			n =	2
		índice de consistência (IC)	0,00%				
		razão de consistência (RC)	#DIV/0!	< 10%			

Figura 5.7 – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade para as classes do indicador de perigo tipo de material nos escorregamentos rasos de solo em encostas naturais.

Para as classes do indicador de perigo estrutura geológica, os resultados da matriz de decisão AHP e do autovetor são apresentados na Figura 5.8. Para a condição desfavorável à estabilidade, o peso foi 74,82%; seguida da condição favorável à estabilidade com peso 18,04% e da condição de não observação da estrutura geológica na encosta, com peso de 7,14%.

A razão de consistência obtida para os julgamentos da matriz de decisão foi 4,49%.

Cálculos AHP - tamanho 3 x 3		ESTRUTURA GEOLÓGICA					
Matriz Recíproca							
Classes	(NO) - NÃO OBSERVADO	(E1) - FAVORÁVEL À ESTABILIDADE	(E2) - DESFAVORÁVEL À ESTABILIDADE				
(NO) - NÃO OBSERVADO	1	1/3	1/9				
(E1) - FAVORÁVEL À ESTAB.	3	1	1/5				
(E2) - DESFAVORÁVEL À ESTAB.	9	5	1				
SOMA	13,00	6,33	1,31				
Matriz Normalizada				SOMA	AUTOVETOR		
	0,077	0,053	0,085	0,214	7,14%	(NO) - NÃO OBSERVADO	
	0,231	0,158	0,153	0,541	18,04%	(E1) - FAVORÁVEL À ESTABILIDADE	
	0,692	0,789	0,763	2,244	74,82%	(E2) - DESFAVORÁVEL À ESTABILIDADE	
SOMA	1,000	1,000	1,000	3,000	100,0%		
		autovalor (λmáx)	3,0521			n =	3
		índice de consistência (IC)	2,61%				
		razão de consistência (RC)	4,49%	< 10%			

Figura 5.8 – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade para as classes do indicador de perigo estrutura geológica nos escorregamentos rasos de solo em encostas naturais.

5.1.3.2. Escorregamento em talude de corte

Os indicadores de perigo adotados para esse tipo de processo também foram 07, resultando no mesmo número de comparações que os indicadores de perigo para escorregamentos em encostas naturais, anteriormente descrito. Portanto, foram realizadas 21 comparações par a par em uma matriz de decisão de ordem 7.

A matriz de decisão AHP com as comparações par a par e os resultados do autovetor obtidos por meio da aplicação do AHP para escorregamentos de solo/rocha em taludes corte são apresentados na Figura 5.9, a seguir.

A análise de sensibilidade verificada através da obtenção do valor da razão de consistência mostrou coerência e consistência nos julgamentos, obtendo o valor 7,95%.

Cálculos AHP - tamanho 7 x 7				ESCORREGAMENTO DE SOLO/ROCHA EM TALUDE DE CORTE						
Matriz Recíproca										
Indicadores de perigo	Amplitude	Declividade	Uso/cobertura	Nível d' água (NA)	Água superficial	Material	Estrutura Geológica			
Amplitude	1	1/2	1	1/2	1/2	2	1/2			
Declividade	2	1	3	1	2	3	2			
Uso/cobertura	1	1/3	1	1/2	1	1	2			
Nível d' água (NA)	2	1	2	1	2	2	2			
Água superficial	2	1/2	1	1/2	1	1/2	2			
Material	1	1/3	1	1/2	2	1	3			
Estrutura Geológica	2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/3	1			
SOMA	11,00	4,17	9,50	4,50	9,00	9,83	12,50			
Matriz Normalizada								SOMA	AUTOVETOR	
	0,091	0,120	0,105	0,111	0,056	0,203	0,040	0,726	10,37%	Amplitude
	0,182	0,240	0,316	0,222	0,222	0,305	0,160	1,647	23,53%	Declividade
	0,091	0,080	0,105	0,111	0,111	0,102	0,160	0,760	10,86%	Uso/cobertura
	0,182	0,240	0,211	0,222	0,222	0,203	0,160	1,440	20,57%	Nível d' água (NA)
	0,182	0,120	0,105	0,111	0,111	0,051	0,160	0,840	12,00%	Água superficial
	0,091	0,080	0,105	0,111	0,222	0,102	0,240	0,951	13,59%	Material
	0,182	0,120	0,053	0,111	0,056	0,034	0,080	0,635	9,07%	Estrutura Geológica
SOMA	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	7,000	100,0%	
		autovalor (λmáx)	7,6294				n =	7		
		índice de consistência (IC)	10,49%							
		razão de consistência (RC)	7,95% < 10%							

Figura 5.9 – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade dos indicadores de perigo para escorregamento raso de solo/rocha em taludes de corte.

De acordo com os resultados do autovetor apresentados na Figura 5.9, os indicadores de perigo de maior importância no processo de escorregamentos em taludes de corte em solo/rocha são: em primeiro lugar a declividade do talude de corte (com peso de 23,53%) e em segundo a posição do nível d'água (com peso de 20,57%), seguidos do tipo de material (com 13,59%), concentração de água superficial (com 12%), tipo de uso/cobertura (com 10,86%), amplitude (com peso de 10,37%) e estrutura geológica (com 9,07%).

Esses resultados do autovetor para os escorregamentos de solo/rocha em taludes de corte podem ser justificados por meio do trabalho de DEERE & PATTON (1971), onde foi

verificado que os taludes de cortes realizados em rochas alteradas e sã suportam declividades mais acentuadas que nos taludes de cortes em solos. Este trabalho mostra a forte influência da declividade e do tipo de solo/rocha nos escorregamentos em taludes de cortes.

A influência das condições hidrológicas, assim como nos resultados do autovetor para os escorregamentos de solo em encostas naturais, também pode ser justificada conforme os trabalhos de CARVALHO (1991) e de AUGUSTO FILHO & VIRGILI (1998).

Assim como no caso do processo de escorregamento raso de solo em encostas naturais, os resultados da análise de sensibilidade dos julgamentos das classes de indicadores de perigo para os escorregamentos em taludes de cortes em solo/rocha ficaram abaixo de 10%, conforme recomenda o método AHP. Com exceção das classes cuja matriz de decisão for de segunda ordem (n = 2).

A seguir são apresentadas a matrizes de decisão AHP e seus respectivos autovetores para as classes dos indicadores de perigo em escorregamentos em taludes de corte/rocha.

A Figura 5.10 representa a matriz de decisão AHP para as classes do indicador de perigo amplitude. Essas classes de amplitude adotadas para o processo de escorregamento em taludes de corte em solo/rocha foram 4, resultando em 6 comparações par a par na escala de Saaty. Na estruturação da matriz recíproca foram 16 combinações.

O maior peso, ou seja, a maior importância foi atribuída ao maior valor de amplitude (altura); condição crítica desta classe na deflagração dos escorregamentos em taludes de corte. Portanto, a classe de amplitude maior que 10 metros tem peso de 55,79%; seguida da classe de amplitude entre 5 e 10 metros com peso de 26,33%; da classe de amplitude entre 2 e 5 metros, com peso de 12,19% e da classe com amplitude menor ou igual a 2 metros, com peso de 5,69%. O valor da razão de consistência obtido para a classe de amplitude foi de 6,54%.

Cálculos AHP - tamanho 4 x 4			AMPLITUDE				
Matriz Recíproca							
Classes	(A1) ≤2 m	(A2) 2<A≤5 m	(A3) 5<A<10 m	(A4) >10 m			
(A1) ≤2 m	1	1/3	1/5	1/7			
(A2) 2<A≤5 m	3	1	1/3	1/5			
(A3) 5<A<10 m	5	3	1	1/3			
(A4) >10 m	7	5	3	1			
SOMA	16,00	9,33	4,53	1,68			
Matriz Normalizada					SOMA	AUTOVETOR	
	0,063	0,036	0,044	0,085	0,228	5,69%	(A1) ≤2 m
	0,188	0,107	0,074	0,119	0,487	12,19%	(A2) 2<A≤5 m
	0,313	0,321	0,221	0,199	1,053	26,33%	(A3) 5<A<10 m
	0,438	0,536	0,662	0,597	2,232	55,79%	(A4) >10 m
SOMA	1,000	1,000	1,000	1,000	4,000	100,00%	
		autovalor (λmáx)	4,1767			n =	4
		índice de consistência (IC)	5,89%				
		razão de consistência (RC)	6,54% < 10%				

Figura 5.10 – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade para as classes do indicador de perigo amplitude para escorregamento raso de solo/rocha em taludes de corte.

Para o indicador de perigo declividade, assim como para a amplitude, foram definidas 4 classes de atributos, resultando em 6 comparações par a par na escala de Saaty e em 16 combinações na Matriz de Decisão AHP, conforme mostra a Figura 5.11, a seguir.

Cálculos AHP - tamanho 4 x 4			DECLIVIDADE				
Matriz Recíproca							
Classes	(D1)≤17°	(D2) 17°<D≤ 30°	(D3) 30°<D≤60°	(D4) D>60°			
(D1)≤17°	1	1/4	1/7	1/9			
(D2) 17°<D≤30°	4	1	1/3	1/5			
(D3) 30°<D≤60°	7	3	1	1/3			
(D4) D>60°	9	5	3	1			
SOMA	21,00	9,25	4,48	1,64			
Matriz Normalizada					SOMA	AUTOVETOR	
	0,048	0,027	0,032	0,068	0,174	4,35%	(D1) ≤17°
	0,190	0,108	0,074	0,122	0,495	12,37%	(D2) 17°<D≤30°
	0,333	0,324	0,223	0,203	1,084	27,09%	(D3) 30°<D≤60°
	0,429	0,541	0,670	0,608	2,247	56,19%	(D4) D>60°
SOMA	1,000	1,000	1,000	1,000	4,000	100,0%	
		autovalor (λmáx)	4,1948			n =	4
		índice de consistência (IC)	6,49%				
		razão de consistência (RC)	7,22% < 10%				

Figura 5.11 – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade para as classes do indicador de perigo declividade para escorregamento raso de solo/rocha em taludes de corte.

Os resultados do autovetor para as classes do indicador declividade foram: taludes de corte com declividade superior a 60° representa a condição crítica na deflagração de escorregamentos obtendo peso de 58,19%; seguido da classe de declividade entre 30° e 60°,

com peso de 27,09%; da classe de declividade entre 17° e 30°, com peso de 12,37% e para declividades menores que 17°, com peso de 4,35%. A razão de consistência dos julgamentos da matriz de decisão AHP foi de 7,22%.

A Figura 5.12 mostra as comparações par a par da matriz de decisão, os resultados obtidos para autovetor das classes do indicador tipo de material do substrato, em ordem de importância e os resultados da análise de sensibilidade. Os resultados do autovetor foram: a classe de depósito natural (tálus/colúvio) com peso de 48,13%; rocha alterada e solo residual com o mesmo peso, de 21,04%; e rocha sã com peso de 9,79%. O depósito natural representa, novamente, a condição mais crítica do tipo de material na deflagração de escorregamentos. O solo residual e a rocha alterada possuem o mesmo peso, pois representam os materiais onde a superfície de ruptura geralmente se desenvolve (WOLLE & CARVALHO, 1989). A rocha sã representa um material mais resistente que os demais à ruptura planar, sendo neste caso, condicionada por fatores estruturais.

Cálculos AHP - tamanho 4 x 4			MATERIAL				
Matriz Recíproca							
Classes	(M1) - SOLO RESIDUAL	(M2) - DEPÓSITO NATURAL	(M3) - ROCHA ALTERADA	(M4) - ROCHA SÃ			
(M1) - SOLO RESIDUAL	1	1/3	1	3			
(M2) - DEPÓSITO NATURAL	3	1	3	3			
(M3) - ROCHA ALTERADA	1	1/3	1	3			
(M4) - ROCHA SÃ	1/3	1/3	1/3	1			
SOMA	5,33	2,00	5,33	10,00			
Matriz Normalizada						AUTOVETOR	
	0,188	0,167	0,188	0,300	0,842	21,04%	(M1) - SOLO RESIDUAL
	0,563	0,500	0,563	0,300	1,925	48,13%	(M2)- DEPÓSITO NATURAL
	0,188	0,167	0,188	0,300	0,842	21,04%	(M3) - ROCHA ALTERADA
	0,063	0,167	0,063	0,100	0,392	9,79%	(M4) - ROCHA SÃ
SOMA	1,000	1,000	1,000	1,000	4,000	100,0%	
		autovalor (λmáx)	4,1861			n =	4
		índice de consistência (IC)	6,20%				
		razão de consistência (RC)	6,89% < 10%				

Figura 5.12 – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade para as classes do indicador de perigo tipo de material nos escorregamentos de solo/rocha em taludes de corte.

No processo de escorregamento de solo/rocha em taludes de corte, as classes adotadas para os indicadores de perigo: uso/cobertura, nível d'água, água superficial e estruturas geológicas foram as mesmas adotadas no processo de escorregamentos de solo em encostas naturais. Os resultados dos autovetores e da análise de sensibilidade também foram os mesmos obtidos para os escorregamentos em encostas naturais, para as respectivas classes.

Portanto, os resultados do autovetor, em ordem de importância das classes do indicador de perigo uso/cobertura foram: solo exposto (com peso de 54,20%); cobertura

urbana (com peso de 21,16%); campo/cultura (com peso de 14,22%); cobertura arbustiva (com peso de 6,70%) e cobertura arbórea (com peso de 3,72%). O valor da razão de consistência foi de 8,78%.

Os resultados obtidos para as classes do indicador nível d'água no processo de escorregamento em taludes de cortes foram: peso de 90% para a observação de surgência do nível d'água na encosta e 10% para a não observação do nível d'água. Por tratar-se de uma matriz de segunda ordem, a análise de sensibilidade não pode ser realizada.

Os pesos do autovetor, em ordem de importância, para as classes do indicador águas superficiais no processo de escorregamento em taludes de cortes foram: linha de drenagem com peso de 61,57%; seguida da concentração alta com peso de 24,09%; concentração média com 9,85% e concentração baixa com 4,48%. A razão de consistência obtida para esses julgamentos foi de 9,58%.

Para as classes do indicador estrutura geológica os pesos obtidos foram: 74,82% para a condição desfavorável à estabilidade; 18,04% para a condição favorável à estabilidade com peso e 7,14% para a condição de não observação da estrutura geológica na encosta. A razão de consistência obtida foi de 4,49%.

5.1.3.3. Rolamento e desplacamento de blocos rochosos

O número de indicadores de perigo adotados para o processo de rolamento/desplacamento de blocos rochosos foi 11, resultando em 55 comparações par a par na escala de Saaty. Na estruturação da matriz recíproca foram 121 combinações. A análise de sensibilidade apresentou um trabalho sensivelmente maior que as outras análises em se atingir a razão de consistência igual ou inferior a 10%, devido ao número maior de combinações na matriz de decisão AHP.

De acordo com a Figura 5.13, apresentada na próxima página, os indicadores de perigo associados a rolamento/desplacamento de blocos rochosos, em ordem de relevância, são: estrutura geológica, com 24,01%, água superficial, com 12,68%; forma geométrica, com 11,53%; declividade, com 10,18%; condição de contato do bloco, com 10,03%; área de contato, com 8,63%; ângulo do plano basal, com 7,02%; tipo de material, com 5,10%; nível d'água, com 4,81%; uso/cobertura, com 3,02% e amplitude, com 2,97%. O valor da razão de consistência obtido para os julgamentos da matriz AHP para o processo de rolamento/desplacamento de blocos rochosos foi de 8,71%.

De acordo com o estudo de YOSHIKAWA (1997), os fatores determinantes para a deflagração dos processos de rolamento/desplacamento de blocos rochosos, de modo geral são: a estrutura geológica, a geometria do bloco, as condições de drenagem do terreno, a presença de percolação de água nas fraturas, o grau de alteração da rocha, a área de contato e o ângulo do plano basal.

No processo de rolamento/desplacamento, os resultados do autovetor para as classes dos indicadores de perigo: uso/cobertura, nível d'água e água superficial são os mesmos obtidos nos processos de escorregamentos em encostas naturais e nos escorregamentos em taludes de corte. Os pesos do indicador amplitude são os mesmos obtidos no processo de escorregamentos em encostas naturais; e os pesos do indicador declividade coincidem com os pesos desse indicador no processo de escorregamentos em taludes de corte.

Cálculos AHP - tamanho 11 x 11 — **ROLAMENTO/DESPLACAMENTO BLOCO ROCHOSO**

Matriz Recíproca

Indicadores de Perigo	Amplitude	Declividade	Uso/Cobertura	N.A	Água Superficial	Material	Estrutura Geológica	Contato	Forma Geométrica	Área Contato
Amplitude	1	1/3	1	1/4	1/3	1/2	1/7	1/3	1/2	1/4
Declividade	3	1	3	2	2	2	1/4	2	1/2	1
Uso/Cobertura	1	1/3	1	1/2	1/2	1	1/7	1/4	1/3	1/5
N.A.	4	1/2	2	1	1/2	1/3	1/5	1/2	1/2	1/3
Água Superficial	3	1/2	2	2	1	2	1/3	3	2	3
Material	2	1/2	1	3	1/2	1	1/5	1/3	1/2	1/2
Estrutura Geológica	7	4	7	5	3	5	1	3	2	3
Contato	3	1/2	4	2	1/3	3	1/3	1	1/2	3
Plano Basal	2	1/2	5	3	1/3	2	1/3	1/3	1/2	1/2
Forma Geométrica	2	2	3	2	1/2	2	1/2	2	1	3
Área Contato	4	1	5	3	1/3	2	1/3	1/3	1/3	1
SOMA	32,00	11,17	34,00	23,75	9,33	20,83	3,77	13,08	8,67	15,78

Matriz Normalizada

										SOMA	AUTOVETOR	
0,031	0,030	0,029	0,011	0,036	0,024	0,038	0,025	0,029	0,016	0,326	2,97%	Amplitude
0,094	0,090	0,088	0,084	0,214	0,096	0,066	0,153	0,114	0,063	1,120	10,18%	Declividade
0,031	0,030	0,029	0,021	0,054	0,048	0,038	0,019	0,011	0,013	0,333	3,02%	Uso/Cobertura
0,125	0,045	0,059	0,042	0,054	0,016	0,053	0,038	0,019	0,021	0,529	4,81%	N.A.
0,094	0,045	0,059	0,084	0,107	0,096	0,088	0,229	0,171	0,190	1,394	12,68%	Água Superficial
0,063	0,045	0,029	0,126	0,054	0,048	0,053	0,025	0,029	0,032	0,561	5,10%	Material
0,219	0,358	0,206	0,211	0,321	0,240	0,265	0,229	0,171	0,190	2,641	24,01%	Estrutura Geológica
0,094	0,045	0,118	0,084	0,036	0,144	0,088	0,076	0,171	0,190	1,104	10,03%	Contato
0,063	0,045	0,147	0,126	0,036	0,096	0,088	0,025	0,057	0,032	0,773	7,02%	Plano Basal
0,063	0,179	0,088	0,084	0,054	0,096	0,133	0,153	0,114	0,190	1,269	11,53%	Forma Geométrica
0,125	0,090	0,147	0,126	0,036	0,096	0,088	0,025	0,114	0,063	0,949	8,63%	Área Contato
1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	11,000	100,0%	

autovalor (λmáx)	12,3146	
índice de consistência (IC)	13,15%	
razão de consistência (RC)	8,71%	< 10%

n = 11

Figura 5.13 – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade para os indicadores de perigo nos processos de rolamento/desplacamento de blocos rochosos.

A Figura 5.14 mostra as comparações par a par na matriz de decisão AHP das classes do tipo de material. Os resultados do autovetor, em ordem de importância na deflagração do rolamento/desplacamento de blocos, são: depósito natural, com peso de 54,46%; rocha alterada com 22,92%; rocha sã com 17,08% e solo residual com 5,55%. A razão de consistência foi de 7,47%, indicando que os julgamentos paritários são consistentes e coerentes.

Os depósitos naturais por serem materiais muito instáveis e devido a sua composição granulométrica variada pode instabilizar blocos rochosos durante o processo de escorregamento. Outro condicionante importante é o grau de alteração da rocha que pode contribuir na diminuição da resistência da rocha.

Cálculos AHP - tamanho 4 x 4		MATERIAL					
Matriz Recíproca							
Classes	(M1) - SOLO RESIDUAL	(M2) - DEPÓSITO NATURAL	(M3) - ROCHA ALTERADA	(M4) - ROCHA SÃ			
(M1) - SOLO RESIDUAL	1	1/7	1/4	1/5			
(M2) - DEPÓSITO NATURAL	7	1	3	4			
(M3) - ROCHA ALTERADA	4	1/3	1	2			
(M4) - ROCHA SÃ	5	1/4	1/2	1			
SOMA	17,00	1,73	4,75	7,20			
Matriz Normalizada					SOMA	AUTOVETOR	
	0,059	0,083	0,053	0,028	0,222	5,55%	(M1) - SOLO RESIDUAL
	0,412	0,579	0,632	0,556	2,178	54,46%	(M2) - DEPÓSITO NATURAL
	0,235	0,193	0,211	0,278	0,917	22,92%	(M3) - ROCHA ALTERADA
	0,294	0,145	0,105	0,139	0,683	17,08%	(M4) - ROCHA SÃ
SOMA	1,000	1,000	1,000	1,000	4,000	100,0%	
		autovalor (λmáx)	4,2016			n =	4
		índice de consistência (IC)	6,72%				
		razão de consistência (RC)	7,47% < 10%				

Figura 5.14 – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade para as classes do indicador de perigo tipo de material no desplacamento/rolamento de blocos rochosos.

A matriz de decisão AHP e os resultados do autovetor para o indicador de perigo estrutura geológica, no rolamento/desplacamento de blocos, estão apresentados na Figura 5.15, a seguir.

Cálculos AHP - tamanho 3 x 3		ESTRUTURA GEOLÓGICA					
Matriz Recíproca							
Classes	(NC) NÃO OBSERVADA	(E2) 1 FAMÍLIA FRATURA	(E3) 2 FAMÍLIAS FRATURAS				
(NO) NÃO OBSERVADA	1	1/4	1/9				
(E2) 1 FAMÍLIA FRAT.	4	1	1/4				
(E3) 2 FAMÍLIAS FRAT.	9	4	1				
SOMA	14,00	5,25	1,36				
Matriz Normalizada				SOMA	AUTOVETOR		
	0,071	0,048	0,082	0,201	6,69%	(NO) NÃO OBSERVADA	
	0,286	0,190	0,184	0,660	22,00%	(E2) 1 FAMÍLIA FRATURA	
	0,643	0,762	0,735	2,139	71,32%	(E3) 2 FAMÍLIAS FRATURA	
SOMA	1,000	1,000	1,000	3,000	100,0%		
		autovalor (λmáx)	3,0619			n =	3
		índice de consistência (IC)	3,10%				
		razão de consistência (RC)	5,34% < 10%				

Figura 5.15 – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade para as classes do indicador de perigo estrutura geológica no rolamento/desplacamento de blocos rochosos.

Conforme observa-se na Figura 5.15, a classe de maior peso na deflagração do processo de rolamento/desplacamento de blocos é a classe com presença de duas ou mais famílias de fraturas, com peso de 71,32%. Quando se tem mais de uma família de descontinuidade condicionando estruturalmente o maciço rochoso, pode ocorrer liberação de blocos rochosos instáveis.

A classe com presença de uma família de fratura pode condicionar o desplacamento de lasca, quedas e tombamento de blocos e apresenta peso de 22%. A classe que representa a não observação de descontinuidades no maciço tem peso 6,69%. A razão de consistência obtida para os julgamentos paritários da classe da estrutura geológica foi de 5,34%.

A Figura 5.16 mostra os resultados do autovetor das classes do indicador de perigo tipo de contato. Os resultados obtidos são: contato rocha/solo, com peso de 64,63%; contato rocha/solo preenchido, com peso de 28,95% e contato rocha/rocha liso, com peso de 6,41%. A razão de consistência dos julgamentos foi de 9,56%.

O contato rocha/solo foi definido como de maior importância no processo de rolamento/desplacamento de rocha, pois pode ocorrer ruptura não somente no bloco, mas também na encosta/talude de solo.

Cálculos AHP - tamanho 3 x 3			CONTATO				
Matriz Recíproca							
Classes	(C1) ROCHA/ROCHA liso	(C2) ROCHA/ROCHA preenchido	(C3) ROCHA/SOLO				
(C1) ROCHA/ROCHA liso	1	1/6	1/8				
(C2) ROCHA/ROCHA preenchido	6	1	1/3				
(C3) ROCHA/SOLO	8	3	1				
	15,00	4,17	1,46				
Matriz Normalizada					AUTOVETOR		
	0,067	0,040	0,086	0,192	6,41%	(C1)ROCHA/ROCHA liso	
	0,400	0,240	0,229	0,869	28,95%	(C2)ROCHA/ROCHA preenchido	
	0,533	0,720	0,686	1,939	64,63%	(C3)ROCHA/SOLO	
SOMA	1,000	1,000	1,000	3,000	100,0%		
		autovalor (λmáx)	3,1108			n =	3
		índice de consistência (IC)	5,54%				
		razão de consistência (RC)	9,56% < 10%				

Figura 5.16 – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade para as classes do indicador de perigo tipo de contato no desplacamento/rolamento de blocos rochosos.

A Figura 5.17 mostra os resultados da matriz de decisão e do autovetor para as classes do ângulo do plano basal do bloco rochoso com a superfície de apoio.

A classe de maior importância na deflagração do processo de rolamento/desplacamento de blocos foi o ângulo do plano basal maior que 35°, com peso de 71,32%; seguido do ângulo entre 15° e 35°, com peso de 22%; e o ângulo entre 0° e 15°, com peso de 6,69%. A razão de consistência dos julgamentos foi de 5,34%.

Cálculos AHP - tamanho 3 x 3			PLANO BASAL				
Matriz Recíproca							
Classes	(B1) 0<P≤15°	(B2) 15°<P≤35°	(B3) >35°				
(B1) 0<P≤15°	1	1/4	1/9				
(B2) 15°<P≤35°	4	1	1/4				
(B3) >35°	9	4	1				
SOMA	14,00	5,25	1,36				
Matriz Normalizada				SOMA	AUTOVETOR		
	0,071	0,048	0,082	0,201	6,69%	(B1) 0<P≤15°	
	0,286	0,190	0,184	0,660	22,00%	(B2) 15°<P≤35°	
	0,643	0,762	0,735	2,139	71,32%	(B3) >35°	
SOMA	1,000	1,000	1,000	3,000	100,0%		
		autovalor (λmáx)	3,0619			n =	3
		índice de consistência (IC)	3,10%				
		razão de consistência (RC)	5,34% < 10%				

Figura 5.17 – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade para as classes do indicador de perigo plano basal no desplacamento/rolamento de blocos rochosos.

Para as classes da forma geométrica, apresentadas na Figura 5.18, os resultados do autovetor, em ordem de importância no processo de desplacamento/rolamento são: forma arredondada ou cúbica, com peso de 71,32%; laje, com peso de 22% e lasca com peso de 6,69%. A razão de consistência dos julgamentos foi de 5,34%.

Cálculos AHP - tamanho 3 x 3			FORMA GEOMÉTRICA				
Matriz Recíproca							
Classes	(F1) LASCA	(F2) LAJE	(F3) ARREDONDADA OU CÚBICA				
(F1) LASCA	1	1/4	1/9				
(F2) LAJE	4	1	1/4				
(F3) ARREDONDADA OU CÚBICA	9	4	1				
SOMA	14,00	5,25	1,36				
Matriz Normalizada				SOMA	AUTOVETOR		
	0,071	0,048	0,082	0,201	6,69%	(F1) LASCA	
	0,286	0,190	0,184	0,660	22,00%	(F2) LAJE	
	0,643	0,762	0,735	2,139	71,32%	(F3) ARREDONDADA OU CÚBICA	
SOMA	1,000	1,000	1,000	3,000	100,0%		
		autovalor (λmáx)	3,0619			n =	3
		índice de consistência (IC)	3,10%				
		razão de consistência (RC)	5,34%	< 10%			

Figura 5.18 – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade para as classes do indicador de perigo forma geométrica no desplacamento/rolamento de blocos rochosos.

A Figura 5.19, a seguir, indica os resultados do autovetor para as classes da área de contato. Para a área menor do bloco em contato com a superfície de apoio, o peso obtido foi de 90%; e para a área menor em contato com a superfície de apoio, o peso foi de 10%. Como a matriz é de segunda ordem, não foi possível realizar análise de sensibilidade.

Cálculos AHP - tamanho 2 x 2		ÁREA DE CONTATO				
Matriz Recíproca						
Classes	(AC1) ÁREA MAIOR	(AC2) ÁREA MENOR				
(AC1) ÁREA MAIOR	1	1/9				
(AC2) ÁREA MENOR	9	1				
SOMA	10,00	1,11				
Matriz Normalizada			SOMA	AUTOVETOR		
	0,100	0,100	0,200	10,00%	(AC1) ÁREA MAIOR	
	0,900	0,900	1,800	90,00%	(AC2) ÁREA MENOR	
SOMA	1,000	1,000	2,000	100,0%		
		autovalor (λmáx)	2,0000		n =	2
		índice de consistência (IC)	0,00%			
		razão de consistência (RC)	#DIV/0!	< 10%		

Figura 5.19 – Matriz de decisão AHP, autovetor e análise de sensibilidade para as classes do indicador de perigo área de contato no desplacamento/rolamento de blocos rochosos.

5.1.3.4. Escorregamento em aterro

O número de indicadores de perigo adotados para o processo de escorregamento em aterro foi 6, resultando em 15 comparações par a par dos indiciadores de perigo na escala de Saaty. Na estruturação da matriz recíproca foram 36 combinações.

De acordo com a Figura 5.20, os indicadores de perigo associados ao escorregamento em aterro, em ordem de relevância, são: tipo de material, com 28,12%, presença do nível d'água, com 22,32%; água superficial, com 18,69%; declividade, com

12,07%; amplitude, com 9,51%; e uso/cobertura, com 9,29%. A razão de consistência dos julgamentos foi de 9,74%.

Os resultados do autovetor para escorregamentos em taludes de aterro estão coerentes, pois, segundo CARVALHO (1996), o tipo de material para a construção do aterro, normalmente lançado sobre o solo e as condições hidráulicas são os principais fatores que potencializam a ocorrência de escorregamentos nestes depósitos.

Cálculos AHP - tamanho 6 x 6			ESCORREGAMENTO EM ATERRO						
Matriz Recíproca									
Indicadores de Perigo	Amplitude	Declividade	Uso/Cobertura	N.A.	Água superficial	Material			
Amplitude	1	1/3	1	1	1/3	1/3			
Declividade	3	1	1	1/2	1/2	1/3			
Uso/Cobertura	1	1	1	1/2	1/2	1/3			
N.A.	1	2	2	1	1	2			
Água superficial	3	2	2	1	1	1/3			
Material	3	3	3	1/2	3	1			
SOMA	12,00	9,33	10,00	4,50	6,33	4,33			
Matriz Normalizada							SOMA	AUTOVETOR	
	0,083	0,036	0,100	0,222	0,053	0,077	0,571	9,51%	Amplitude
	0,250	0,107	0,100	0,111	0,079	0,077	0,724	12,07%	Declividade
	0,083	0,107	0,100	0,111	0,079	0,077	0,557	9,29%	Uso/Cobertura
	0,083	0,214	0,200	0,222	0,158	0,462	1,339	22,32%	N.A.
	0,250	0,214	0,200	0,222	0,158	0,077	1,121	18,69%	Água superficial
	0,250	0,321	0,300	0,111	0,474	0,231	1,687	28,12%	Material
SOMA	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	6,000	100,0%	
		autovalor (λmáx)	6,6036				n =	6	
	índice de consistência (IC)		12,07%						
	razão de consistência (RC)		9,74%	< 10%					

Figura 5.20 – Resultados da matriz de decisão AHP, do autovetor e da análise de sensibilidade para os indicadores de perigo no processo de escorregamento em aterro.

Os resultados do autovetor para as classes de amplitude no escorregamento em taludes de aterro foram os mesmos obtidos para esta classe no processo de escorregamento em talude de corte. Logo, a classe de amplitude maior que 10 metros tem peso de 55,79%; seguida da classe de amplitude entre 5 e 10 metros com peso de 26,33%; da classe de amplitude entre 2 e 5 metros, com peso de 12,19% e da classe com amplitude menor ou igual a 2 metros, com peso de 5,69%. O valor da razão de consistência obtido para a classe de amplitude foi de 6,54%.

Os resultados do autovetor para as classes de declividade no escorregamento em taludes de aterro foram os mesmos obtidos para esta classe no processo de escorregamento em encosta natural. Para a classe de declividade com ângulo de inclinação maior que 30°, o peso foi de 71,32%; para declividade entre 17° e 30°, obteve-se peso de 22% e para declividade menor ou igual a 17°, peso de 6,69%.

A razão de consistência para os resultados das comparações na matriz AHP para as classes de declividade foi de 5,34%.

Assim como nos processos de escorregamentos em encostas naturais, em taludes de corte e no rolamento/desplacamento de blocos, os resultados dos autovetores e da análise de sensibilidade para as classes do uso/cobertura, do nível d'água e da água superficial no processo de escorregamento em aterro foram os mesmos. Portanto, os resultados do autovetor, em ordem de importância das classes do indicador de perigo uso/cobertura foram: solo exposto (com peso de 54,20%); cobertura urbana (com peso de 21,16%); campo/cultura (com peso de 14,22%); cobertura arbustiva (com peso de 6,70%) e cobertura arbórea (com peso de 3,72%). O valor da razão de consistência foi de 8,78%.

Os resultados obtidos para as classes do indicador nível d'água no processo de escorregamento em taludes de aterro foram: peso de 90% para a observação de surgência do nível d'água na encosta e 10% para a não observação do nível d'água. Por tratar-se de uma matriz de segunda ordem, a análise de sensibilidade não pode ser realizada.

Os pesos do autovetor, em ordem de importância, para as classes do indicador águas superficiais no processo de escorregamento em taludes de aterro foram: linha de drenagem com peso de 61,57%; seguida da concentração alta com peso de 24,09%; concentração média com 9,85% e concentração baixa com 4,48%. A razão de consistência obtida para esses julgamentos foi de 9,58%.

Os resultados da matriz de decisão AHP, do autovetor e da análise de sensibilidade dos julgamentos par a par para as classes do indicador tipo de material, estão apresentados na Figura 5.21, a seguir.

Cálculos AHP - tamanho 3 x 3			MATERIAL			
Matriz Recíproca						
Classes	(M1) SOLO	(M2) LIXO/ENTULHO	(M3) MISTO			
(M1) SOLO	1	1/3	1/5			
(M2) LIXO/ENTULHO	3	1	1			
(M3) MISTO	5	1	1			
SOMA	9,00	2,33	2,20			
Matriz Normalizada				SOMA	AUTOVETOR	
	0,111	0,143	0,091	0,345	11,50%	(M1) SOLO
	0,333	0,429	0,455	1,216	40,55%	(M2) LIXO/ENTULHO
	0,556	0,429	0,455	1,439	47,96%	(M3) MISTO
SOMA	1,000	1,000	1,000	3,000	100,00%	
		autovalor (λmáx)	3,0358		n =	3
		índice de consistência (IC)	1,79%			
		razão de consistência (RC)	3,09%	< 10%		

Figura 5.21 – Resultados da matriz de decisão AHP, do autovetor e da análise de sensibilidade para as classes do indicador tipo de material no processo de escorregamento em aterro.

De acordo com a Figura 5.21, as classes do indicador tipo de material, representadas pelo autovetor em ordem de importância na deflagração do processo de escorregamento em aterros são: primeiramente lixo e/ou entulho, com peso de 65,83%; em segundo, lixo, entulho e solos (condição mista), com 28,19% e solo, com 5,98%. A classe lixo/entulho tem maior peso, devido a condição de aterro composto por materiais muito permeáveis, porosos e de baixa resistência.

A razão de consistência dos julgamentos paritários das classes do tipo de material foi de 7,11%.

5.1.4. Análise do Perigo

Conforme já apresentado no Capítulo 3 (item 3.4, na página 50), a estruturação da planilha de análise de perigo de escorregamento envolveu quatro tabelas principais: entrada de dados, chave de ponderação, índice de perigo e classificação do perigo.

Primeiramente, são apresentadas as Tabelas 5.9 a 5.14 com os dados de entrada relativos aos setores de perigo mapeados. Nestas tabelas estão presentes: a localização e denominação da área, os técnicos envolvidos nos trabalhos de campo, a natureza da encosta/talude, os tipos de processos, os indicadores de perigo de escorregamento e suas respectivas classes. Os resultados finais da análise de perigo são transportados para estas tabelas.

Em seguida, é apresentada a Tabela 5.15, denominada “chave de ponderação”, com os pesos dos indicadores e suas respectivas classes, obtidos por meio da aplicação da matriz de decisão AHP. Os resultados da chave de ponderação são utilizados para o cálculo dos IPs.

Tabela 5.9 - Dados de entrada dos trabalhos de campo realizados na Área da Topolândia no mapeamento de perigo de escorregamentos com a aplicação do Método AHP.

ANÁLISE DE PERIGO - ENTRADA DE DADOS - LEVANTAMENTO DE CAMPO																					
ÁREA DE ESTUDO:		A1-Topolândia				DATA:	13/05/09	TÉCNICOS:	Jair Santoro e Daniela G M Faria											FICHA No:	1
OBSERVAÇÕES:		Rua José Passini - Trav. Onofre Santos																			
SETOR	ENCOSTA/ TALUDE	PROCESSO	INDICADORES DE PERIGO												ANÁLISE DE PERIGO		CONSEQÜÊNCIAS		CARTOGRAFIA - REGISTRO	
			AMPLITUDE	DECLIVIDADE	USO/COBERTURA	N.A.	ÁGUA SUPERFICIAL	MATERIAL	ESTRUTURA GEOLÓGICA	No caso da presença de BLOCOS ROCHOSOS				FEIÇÕES DE INSTABILIDADE	ÍNDICE	GRAU	CASA_ALVENARIA	CASA_MADEIRA	MAPA/FOTO AÉREA	FOTOS CAMPO
										CONTATO	PLANO BASAL	FORMA GEOMÉTRICA	ÁREA CONTATO							
A1_S1	Bloco Rochoso	Queda/rolamento	25 m	60°	arbustiva	nã o obs	média conc. - vazamento e muitas mangueiras	depósito natural	1 família	rocha-solo	40°	arredondada/cúbi ca	área maior	degrau de abatimento	39,84	Muito Alto	16	4		
A1_S1	corte	escorregamento em solo	1 m	90°	solo exposto	n ão obs	baixa concentração	depósito natural	não observada					degrau de abatimento	30,13	Muito Alto	16	4		
A1_S2	corte	escorregamento em solo	3,5 m	90°	urbana	não o bs	baixa concentração	depósito natural	não observada					não	27,21	Médio	64	0		
A1_S3	Bloco Rochoso	Queda/rolamento	3 m	10°	urbana	não ob s	baixa concentração	Rocha alterada	1 família	rocha-solo	10°	arredondada/cúbica	área maior	não	25,06	Baixo	1	0		

Tabela 5.10 - Dados de entrada dos trabalhos de campo realizados na Área de Toque-Toque Pequeno no mapeamento de perigo de escorregamentos com a aplicação do Método AHP.

ANÁLISE DE PERIGO - ENTRADA DE DADOS - LEVANTAMENTO DE CAMPO																					
ÁREA DE ESTUDO:		A2-Toque-Toque Pequeno				DATA:	12/05/09	TÉCNICOS:	Jair Santoro e Daniela G M Faria											FICHA No:	2
OBSERVAÇÕES:		SP 55 km 14 - Rua Eleodório Marcelino de Matos (Setor 1)- Rua Adinal Casilho Batista (Setor 2)- Bar do Vadão (Setor 3)																			
SETOR	ENCOSTA/ TALUDE	PROCESSO	INDICADORES DE PERIGO												ANÁLISE DE PERIGO		CONSEQÜÊNCIAS		CARTOGRAFIA - REGISTRO	
			AMPLITUDE	DECLIVIDADE	USO/COBERTURA	N.A.	ÁGUA SUPERFICIAL	MATERIAL	ESTRUTURA GEOLÓGICA	No caso da presença de BLOCOS ROCHOSOS				FEIÇÕES DE INSTABILIDADE	ÍNDICE	GRAU	CASA_ALVENARIA	CASA_MADEIRA	MAPA/FOTO AÉREA	FOTOS CAMPO
										CONTATO	PLANO BASAL	FORMA GEOMÉTRICA	ÁREA CONTATO							
A2_S1	natural	esc.solo.raso	30 m	45°	arbórea	não obs.	médi a conc. - vazamento e muitas mangueiras	colúvio-tálus	não observada					degrau de abatimento	38,75	Alto	10	2		
A2_S1	corte	esc.solo.rocha	2 m	90°	solo exposto	não obs.	b aixa concentração	colúvio-tálus	não observada					não	30,13	Médio	10	2		
A2_S2	natural	esc.solo.raso	20 m	45°	arbórea	não obs.	baix a concentração	colúvio-tálus	não observada					não	38,75	Alto	15	5		
A2_S2	corte	esc.solo.rocha	3 m	80°	solo exposto	não obs.	b aixa concentração	colúvio-tálus	não observada					não	30,15	Médio	15	5		
A2_S2	Bloco	rolamento/desplacamento	20 m	45°	campo	não ob s.	baixa concentração	colúvio-tálus	não observada	rocha/solo	20°	arredondado	área maior	não	27,85	Médio	15	5		
A2_S3	natural	esc.solo.raso	10 m	30°	arbórea	não obs.	baix a concentração	residual	não observada					não	11,90	Baixo	8	3		
A2_S3	corte	esc.solo.rocha	2-4 m	90°	campo	não obs.	baixa concentração	residual	não observada					não	22,13	Baixo	8	3		
A2_S3	aterro	escorregamento	1 m	35°	cobertura urbana	não obs.	baixa concentração	solo	sem informação					não	17,42	Baixo	8	3		

Tabela 5.11 - Dados de entrada dos trabalhos de campo realizados na Área da Vila Baiana – Barra do Sahy no mapeamento de perigo de escorregamentos com a aplicação do Método AHP.

ANÁLISE DE PERIGO - ENTRADA DE DADOS - LEVANTAMENTO DE CAMPO																					
ÁREA DE ESTUDO:		A3- Vila Baiana - Barra do Sahy				DATA:	13/05/2009	TÉCNICOS:	Jair Santoro e Daniela G M Faria											FICHA No:	3
OBSERVAÇÕES:		SP 55 - Rua Manoel Neto (antiga rua 2)/Rua Ricardo Queiroz (Setor 3)																			
SETOR	ENCOSTA/ TALUDE	PROCESSO	INDICADORES DE PERIGO												ANÁLISE DE PERIGO		CONSEQÜÊNCIAS		MAPA/FOTO AÉREA	
			AMPLITUDE	DECLIVIDADE	USO/COBERTURA	N.A.	ÁGUA SUPERFICIAL	MATERIAL	ESTRUTURA GEOLÓGICA	No caso da presença de BLOCOS ROCHOSOS				FEIÇÕES DE INSTABILIDADE	ÍNDICE	GRAU	CASA_ALVENARIA	CASA_MADEIRA	MAPA/FOTO AÉREA	FOTOS CAMPO
										CONTATO	PLANO BASAL	FORMA GEOMÉTRICA	ÁREA CONTATO							
A3_S1	natural	esc.solo.raso	30 m	30°	arbórea	não obs.	baix a concentração	residual	não observada					não	18,31	Baixo	30	10		
A3_S1	corte	esc.solo.rocha	3 m	90°	solo exposto	não obs.	b aixa concentração	residual	não observada					não	28,83	Médio	30	10		
A3_S1	aterro	escorregamento	1 m	90°	solo exposto	não obs.	baixa concentração	solo	sem inform.					não	24,15	Baixo	30	10		
A3_S2	aterro	escorregamento	2 m	90°	urbana	não obs.	alta concentração	misto	sem inform.					trincas no piso e paredes; cicatriz	31,34	Muito Alto	1	0		
A3_S3	natural	esc.solo.raso	15 m	40°	arbórea	não obs.	baix a concentração	residual	não observada					não	28,43	Médio	15	5		
A3_S3	corte	esc.solo.rocha	1,5 m	90°	arbustiva	não obs.	ba ixa concentração	residual	não observada					não	20,64	Baixo	15	5		

Tabela 5.12 - Dados de entrada dos trabalhos de campo realizados na Área de Juquehy no mapeamento de perigo de escorregamentos com a aplicação do Método AHP.

ANÁLISE DE PERIGO - ENTRADA DE DADOS - LEVANTAMENTO DE CAMPO																					
ÁREA DE ESTUDO:		A4 - Juquehy				DATA:	12/05/2009		TÉCNICOS:	Jair Santoro e Daniela G M Faria										FICHA No:	4
OBSERVAÇÕES:		SP 55 - Km 178 - antigo Bar do Esquimó																			
SETOR	ENCOSTA/ TALUDE	PROCESSO	INDICADORES DE PERIGO													ANÁLISE DE PERIGO		CONSEQÜÊNCIAS		CARTOGRAFIA - REGISTRO	
			AMPLITUDE	DECLIVIDADE	USO/COBERTURA	N.A.	ÁGUA SUPERFICIAL	MATERIAL	ESTRUTURA GEOLÓGICA	No caso da presença de BLOCOS ROCHOSOS				FEIÇÕES DE INSTABILIDADE						
										CONTATO	PLANO BASAL	FORMA GEOMÉTRICA	ÁREA CONTATO		ÍNDICE	GRAU	CASA_ALVENARIA	CASA_MADEIRA	FOTO AÉREA	FOTOS CAMPO
A4_S1	corte	esc. solo.rocha	2-3 m	80°	urbana	surgência	média conc. - vazamento e muitas mangueiras	tálus	não considerada					sim_ trincas no piso e paredes	43,67	Muito Alto	60			
A4_S1	aterro	escorregamento	1 m	60°	urbana	surgência	média conc. - vazamento e muitas mangueiras	solo	não considerada					sim_ trincas no piso e paredes	36,28	Muito Alto	60			
A4_S2	natural	esc.solo.raso	20 m	30°	arbórea	não obs.	baixa concentração	residual	não considerada					não	13,42	Baixo	10			
A4_S2	corte	esc. solo.rocha	4 m	40 °	arbustiva	não obs.	baixa concentração	residual	não considerada					não	14,47	Baixo	10			
A4_S3	corte	esc. solo.rocha	4-6 m	80°	rasteira	não obs.	baixa concentração	residual	não considerada					não	23,60	Baixo	5			
A4_S4	corte	esc. solo.rocha	5 m	85°	solo exposto	não obs.	ALTA - vazamento de tubulação e lançamento esgoto	residual	não considerada					não	28,83	Médio	14			

Tabela 5.13 - Dados de entrada dos trabalhos de campo realizados na Área de Itatinga no mapeamento de perigo de escorregamentos com a aplicação do Método AHP.

ANÁLISE DE PERIGO - ENTRADA DE DADOS - LEVANTAMENTO DE CAMPO																					
ÁREA DE ESTUDO:		A5-Itatinga				DATA:	09/11/09		TÉCNICOS:	Rodolfo M M endes e Daniela G M Faria										FICHA No:	5
OBSERVAÇÕES:		Rua Julio Prestes de Albuquerque/Rua Francisco Tenório dos Santos																			
SETOR	ENCOSTA/ TALUDE	PROCESSO	INDICADORES DE PERIGO													ANÁLISE DE PERIGO		CONSEQÜÊNCIAS		CARTOGRAFIA - REGISTRO	
			AMPLITUDE	DECLIVIDADE	USO/COBERTURA	N.A.	ÁGUA SUPERFICIAL	MATERIAL	ESTRUTURA GEOLÓGICA	No caso da presença de BLOCOS ROCHOSOS				FEIÇÕES DE INSTABILIDADE						
										CONTATO	PLANO BASAL	FORMA GEOMÉTRICA	ÁREA CONTATO		ÍNDICE	GRAU	CASA_ALVENARIA	CASA_MADEIRA	FOTO AÉREA	FOTOS CAMPO
A5_S1	corte	esc. solo.rocha	3-5 m	90°	urbana	surgência	concentração média	Rocha alterada	desfavorável à estabilidade						46,12	Alto	1			
A5_S2	natural	esc.solo.raso	15 m	40°	rasteira	não obs	linha de drenagem	solo residual	não observada						38,20	Alto	15			
A5_S2	corte	esc. solo	1-2 m	90°	solo exposto	não obs	linha de drenagem	solo residual	não observada						32,65	Médio	15			
A5_S2	Aterro	escorregamento	1 m	40°	urbana	não obs	linha de drenagem	solo	não considerada						28,09	Médio	15			
A5_S3	corte	esc. solo.rocha	2-4 m	80°	rasteira	surgência	concentração média	Rocha alterada	desfavorável à estabilidade						45,37	Alto	30			
A5_S3	Bloco Rochoso	queda/rolamento	2-4 m	80°	rasteira	surgência	concentração média	Rocha alterada	2 famílias de fraturas	rocha/rocha	30°	lasca	área maior em contato		40,95	Alto	30			
A5_S4	corte	esc. solo.rocha	2-5 m	90°	rasteira	não obs	concentração baixa	solo residual	favorável à estabilidade						28,27	Médio	18			
A5_S5	natural	esc.solo.raso	20 m	50°	rasteira	surgência	concentração alta	solo residual	não considerada						48,48	Alto	12			
A5_S5	corte	esc. solo.rocha	3-5 m	80°	solo exposto	surgência	concentração alta	Rocha alterada	desfavorável à estabilidade						51,42	Alto	12			

Tabela 5.14 - Dados de entrada dos trabalhos de campo realizados na Área de Itatinga/Topolândia no mapeamento de perigo de escorregamentos com a aplicação do Método AHP.

ANÁLISE DE PERIGO - ENTRADA DE DADOS - LEVANTAMENTO DE CAMPO																					
ÁREA DE ESTUDO:		A6-Itatinga/Topolândia				DATA:	09/11/09		TÉCNICOS:	Rodolfo M M endes e Daniela G M Faria										FICHA No:	6
OBSERVAÇÕES:		Rua Vereador Francisco Luciano Nogueira																			
SETOR	ENCOSTA/ TALUDE	PROCESSO	INDICADORES DE PERIGO													ANÁLISE DE PERIGO		CONSEQÜÊNCIAS		CARTOGRAFIA - REGISTRO	
			AMPLITUDE	DECLIVIDADE	USO/COBERTURA	N.A.	ÁGUA SUPERFICIAL	MATERIAL	ESTRUTURA GEOLÓGICA	No caso da presença de BLOCOS ROCHOSOS				FEIÇÕES DE INSTABILIDADE						
										CONTATO	PLANO BASAL	FORMA GEOMÉTRICA	ÁREA CONTATO		ÍNDICE	GRAU	CASA_ALVENARIA	CASA_MADEIRA	FOTO AÉREA	FOTOS CAMPO
A6_S1	natural	esc.solo.raso	20 m	40°	rasteira	não obs	linha de drenagem	solo residual	desfavorável à estabilidade						40,00	Alto	60			
A6_S1	corte	esc. solo.rocha	1-3 m	90°	solo exposto	não obs	linha de drenagem	rocha alterada	desfavorável à estabilidade						39,46	Alto	60			
A6_S1	aterro	escorregamento	1 m	90°	cobert urbana	não obs	linha de drenagem	solo	não considerada						28,09	Médio	60			
A6_S2	natural	esc.solo.raso	20 m	45°	rasteira	surgência	linha de drenagem	solo residual	desfavorável à estabilidade					cicatriz	54,32	Muito Alto	1			
A6_S2	corte	esc. solo.rocha	3 m	80°	rasteira	surgência	linha de drenagem	rocha alterada	desfavorável à estabilidade					cicatriz	55,92	Muito Alto	1			
A6_S3	natural	esc.solo.raso	20 m	40°	rasteira	não obs	linha de drenagem	solo residual	desfavorável à estabilidade						40,00	Alto	34			
A6_S3	corte	esc. solo.rocha	3-5 m	70°	solo exposto	não obs	linha de drenagem	rocha alterada	desfavorável à estabilidade						39,46	Alto	34			
A6_S3	aterro	escorregamento	1 m	90°	cobert urbana	não obs	linha de drenagem	solo	não considerada						28,09	Médio	34			

Tabela 5.15 – Chave de ponderação indicando os pesos das classes dos indicadores de perigo para a natureza da encosta/talude e para os tipos de processos de escorregamentos.

ANÁLISE DE PERIGO - CHAVE DE PONDERAÇÃO																							
ENCOSTA/TALUDE	PROCESSO	AMPLITUDE	PESOS	DECLIVIDADE	PESOS	USO/COBERTURA	PESOS	N.A.	PESOS	ÁGUA SUPERFICIAL	PESOS	MATERIAL	PESOS	ESTR.GEOLÓGICA	PESOS	FEIÇÕES DE INSTABILIDADE	CONTATO	PESOS	ÂNG. DO PLANO BASAL	PESOS	FORMA GEOMÉTRICA	PESOS	ÁREA DE CONTATO	PESOS
NATURAL	ESCORREGAMENTO RASO DE SOLO	(A1) ≤10 m	6,69	(D1) ≤17°	6,69	(U1) - ARBÓREA	3,72	(NA1) NÃO OBS.	10	(AS1) - CONCENTRAÇÃO BAIXA	4,48	(M1) - S.RESIDUAL	12,5	(NO) - NÃO OBSERVADA	7,14	(FI1) - SULCOS EROSIVOS								
		(A2) 10<A≤20 m	22	(D2) 17°<D≤30°	22	(U2) - ARBUSTIVA	6,7	(NA2) SURGÊNCIA	90	(AS2) - CONC. MÉDIA	9,85	(M2)- DEPÓSITO NATURAL	87,5	(E1) - FAVORÁVEL À ESTABILIDADE	18,04	(FI2) - TRINCAS/DEGRAUS								
		(A3) >20 m	71,32	(D3) >30°	71,32	(U3) - CAMPO/CULTURA	14,22			(AS3) - CONC. ALTA	24,09			(E2) - DESFAVORÁVEL À ESTABILIDADE	74,82	(FI3) - CICATRIZES								
						(U4) - COBERTURA URB	21,16			(AS4) - LINHA DE DRENAGEM	61,57													
						(U5) - SOLO EXPOSTO	54,2																	
CORTE	ESCORREGAMENTO SOLO/ROCHA	(A1) ≤2 m	5,69	(D1) ≤17°	4,35	(U1) - ARBÓREA	3,72	(NA1) NÃO OBS.	10	(AS1) - CONCENTRAÇÃO BAIXA	4,48	(M1) - S.RESIDUAL	21,04	(NO) - NÃO OBSERVADA	7,14	(FI1) - SULCOS EROSIVOS								
		(A2) 2<A≤5 m	12,19	(D2) 17°<D≤30°	12,37	(U2) - ARBUSTIVA	6,7	(NA2) SURGÊNCIA	90	(AS2) - CONC. MÉDIA	9,85	(M2)- DEPÓSITO NATURAL	48,13	(E1) - FAVORÁVEL À ESTABILIDADE	18,04	(FI2) - TRINCAS/DEGRAUS								
		(A3) 5<A≤10 m	26,33	(D3) 30<D≤60°	27,09	(U3) - CAMPO/CULTURA	14,22			(AS3) - CONC. ALTA	24,09	(M3) - ROCHA ALTERADA	21,04	(E2) - DESFAVORÁVEL À ESTABILIDADE	74,82	(FI3) - CICATRIZES								
		(A4) >10 m	55,79	(D4) D>60°	56,19	(U4) - COBERTURA URB	21,16			(AS4) - LINHA DE DRENAGEM	61,57	(M4) - ROCHA SÃ	9,79											
						(U5) - SOLO EXPOSTO	54,2																	
BLOCO ROCHOSO	ROLAMENTO/ DESPLACAMENTO	(A1) ≤10 m	6,69	(D1) ≤17°	4,35	(U1) - ARBÓREA	3,72	(NA1) NÃO OBS.	10	(AS1) - CONCENTRAÇÃO BAIXA	4,48	(M1) - S.RESIDUAL	5,55	(NO)- NÃO OBSERVADA	6,69	(FI1) - SULCOS EROSIVOS	(C1)ROCHA/ROCHA liso	6,41	(B1) 0<P≤15°	6,69	(F1) LASCA	6,69	(AC1) ÁREA MAIOR	10
		(A2) 10<A≤20 m	22	(D2) 17°<D≤30°	12,37	(U2) - ARBUSTIVA	6,7	(NA2) SURGÊNCIA	90	(AS2) - CONC. MÉDIA	9,85	(M2)- DEPÓSITO NATURAL	54,46	(E1) - 1 FAMÍLIA DE FRATURA	22	(FI2) - TRINCAS/DEGRAUS	(C2)ROCHA/ROCHA preenchido	28,95	(B2) 15°<P≤35°	22	(F2) LAJE	22	(AC2) ÁREA MENOR	90
		(A3) >20 m	71,32	(D3) 30<D≤60°	27,09	(U3) - CAMPO/CULTURA	14,22			(AS3) - CONC. ALTA	24,09	(M3) - ROCHA ALTERADA	22,96	(E2) - 2 OU MAIS FAMÍLIAS DE FRATURAS	71,32	(FI3) - CICATRIZES	(C3)ROCHA/SOLO	64,63	(B3) >35°	71,32	(F3) ARREDONDADA OU CÚBICA	71,32		
				(D4) D>60°	56,19	(U4) - COBERTURA URB	21,16			(AS4) - LINHA DE DRENAGEM	61,57	(M4) - ROCHA SÃ	17,08											
						(U5) - SOLO EXPOSTO	54,2																	
ATERRO	ESCORREGAMENTO	(A1) ≤2 m	5,69	(D1) ≤17°	6,69	(U1) - ARBÓREA	3,72	(NA1) NÃO OBS.	10	(AS1) - CONCENTRAÇÃO BAIXA	4,48	(M1) SOLO	11,5			(FI1) - SULCOS EROSIVOS								
		(A2) 2<A≤5 m	12,19	(D2) 17°<D≤30°	22	(U2) - ARBUSTIVA	6,7	(NA2) SURGÊNCIA	90	(AS2) - CONC. MÉDIA	9,85	(M2) LIXO/ENTULHO	40,55			(FI2) - TRINCAS/DEGRAUS								
		(A3) 5<A≤10 m	26,33	(D3) D>30°	71,32	(U3) - CAMPO/CULTURA	14,22			(AS3) - CONC. ALTA	24,09	(M3) MISTO	47,96			(FI3) - CICATRIZES								
		(A4) >10 m	55,79			(U4) - COBERTURA URB	21,16			(AS4) - LINHA DE DRENAGEM	61,57													
						(U5) - SOLO EXPOSTO	54,2																	

A análise de perigo compreendeu a determinação do Índice de Perigo (IP) e seu respectivo grau de perigo.

Os pesos dos indicadores de perigo e suas respectivas classes, obtidos para cada processo de escorregamento com a aplicação da matriz de decisão AHP, cujos resultados foram apresentados no Capítulo 5 (item 5.1.3, página 111), foram utilizados na determinação do Índice de Perigo (IP). Os IPs foram calculados para cada tipo de processo de escorregamento identificado nos setores de perigo durante os trabalhos de campo, conforme os procedimentos adotados para a estruturação da planilha de análise de perigo de escorregamento, descritos no Capítulo 3 (item 3.4, página 50).

O grau de perigo foi dividido em quatro classes: muito alto, alto, médio e baixo, adotando-se os critérios descritos na Tabela 3.4 no Capítulo 3 (na página 54).

A média aritmética foi calculada para os 41 valores do índice de perigo (IP) resultantes dos diferentes tipos de processos de escorregamentos identificados nos 21 setores de perigo mapeados, conforme mostra a Figura 5.22, a seguir.

ANÁLISE DE PERIGO - RESULTADO									CLASSICAÇÃO DO PERIGO							
ÁREA	SETOR	ENCOSTA	PROCESSO	FEIÇÕES DE INSTABILIDADE: (FI1) - SULCOS EROSIVOS (FI2) - TRINCAS/DEGRAUS (FI3) - CICATRIZES	ANÁLISE DE PERIGO		CONSEQÜÊNCIAS		CRITÉRIO NUMÉRICO = MÉDIA ± (DESVIO/2) PERIGO MUITO ALTO = INDICE ≥ MÉDIA E PRESENÇA DE FEIÇÕES DE INSTABILIDADE=FI2 OU FI3							
					ÍNDICE	GRAU	CASA_ALVENARIA	CASA_MADEIRA	GRAU PERIGO		MÉDIA		DESVIO		BAIXO		ALTO
ÁREA 1 - Topolândia	A1_S1	BLOCO_ROCHOSO	ROLAMENTO/DESPLACAMENTO	FI2	39,84	MUITO ALTO	16	4	ALTO		32,63		10,89		27,19		38,08
	A1_S1	CORTE	ESCORREGAMENTO SOLO/ROCHA	FI2	30,99	MUITO ALTO	16	4	MÉDIO								
	A1_S2	CORTE	ESCORREGAMENTO SOLO/ROCHA		28,07	MÉDIO	64	0	MÉDIO								
	A1_S3	BLOCO_ROCHOSO	ROLAMENTO/DESPLACAMENTO		25,06	BAIXO	1	0	BAIXO								
ÁREA 2 - Toque-Toque Pequeno	A2_S1	NATURAL	ESCORREGAMENTO RASO DE SOLO		38,75	ALTO	10	2	ALTO					VAR-CV coeficiente de variação			
	A2_S1	CORTE	ESCORREGAMENTO SOLO/ROCHA		30,13	MÉDIO	10	2	MÉDIO					0,3337	<0,4		
	A2_S2	NATURAL	ESCORREGAMENTO RASO DE SOLO		38,75	ALTO	15	5	ALTO								
	A2_S2	CORTE	ESCORREGAMENTO SOLO/ROCHA		30,15	MÉDIO	15	5	MÉDIO								
	A2_S2	BLOCO_ROCHOSO	ROLAMENTO.DESPLACAMENTO		27,85	MÉDIO	15	5	MÉDIO								
	A2_S3	NATURAL	ESCORREGAMENTO RASO DE SOLO		11,90	BAIXO	8	3	BAIXO								
	A2_S3	CORTE	ESCORREGAMENTO SOLO/ROCHA		22,13	BAIXO	8	3	BAIXO								
	A2_S3	ATERRO	ESCORREGAMENTO		17,42	BAIXO	8	3	BAIXO								
ÁREA 3 - Vila Baiana	A3_S1	NATURAL	ESCORREGAMENTO RASO DE SOLO		18,31	BAIXO	30	10	BAIXO								
	A3_S1	CORTE	ESCORREGAMENTO SOLO/ROCHA		28,83	MÉDIO	30	10	MÉDIO								
	A3_S1	ATERRO	ESCORREGAMENTO		24,15	BAIXO	30	10	BAIXO								
	A3_S2	ATERRO	ESCORREGAMENTO	FI2	31,34	MUITO ALTO	1	0	MÉDIO								
	A3_S3	NATURAL	ESCORREGAMENTO RASO DE SOLO		28,43	MÉDIO	15	5	MÉDIO								
	A3_S3	CORTE	ESCORREGAMENTO SOLO/ROCHA		20,64	BAIXO	15	5	BAIXO								
ÁREA 4 - Juquehy	A4_S1	CORTE	ESCORREGAMENTO SOLO/ROCHA	FI2	43,67	MUITO ALTO	32	0	ALTO								
	A4_S1	ATERRO	ESCORREGAMENTO	FI2	36,28	MUITO ALTO	32	0	MÉDIO								
	A4_S2	NATURAL	ESCORREGAMENTO RASO DE SOLO		13,42	BAIXO	10	0	BAIXO								
	A4_S2	CORTE	ESCORREGAMENTO SOLO/ROCHA		14,47	BAIXO	10	0	BAIXO								
	A4_S3	CORTE	ESCORREGAMENTO SOLO/ROCHA		23,60	BAIXO	5	0	BAIXO								
	A4_S4	CORTE	ESCORREGAMENTO SOLO/ROCHA		28,83	MÉDIO	14	0	MÉDIO								
ÁREA 5 - Itatinga	A5_S1	CORTE	ESCORREGAMENTO SOLO/ROCHA		46,12	ALTO	4	0	ALTO								
	A5_S2	NATURAL	ESCORREGAMENTO RASO DE SOLO		38,20	ALTO	8	0	ALTO								
	A5_S2	CORTE	ESCORREGAMENTO SOLO/ROCHA		32,65	MÉDIO	8	0	MÉDIO								
	A5_S2	ATERRO	ESCORREGAMENTO		28,09	MÉDIO	8	0	MÉDIO								
	A5_S3	CORTE	ESCORREGAMENTO SOLO/ROCHA		45,37	ALTO	30	0	ALTO								
	A5_S3	BLOCO_ROCHOSO	ROLAMENTO/DESPLACAMENTO		40,95	ALTO	30	0	ALTO								
	A5_S4	CORTE	ESCORREGAMENTO SOLO/ROCHA		28,27	MÉDIO	30	0	MÉDIO								
	A5_S5	NATURAL	ESCORREGAMENTO RASO DE SOLO		48,48	ALTO	18	0	ALTO								
	A5_S5	CORTE	ESCORREGAMENTO SOLO/ROCHA		51,42	ALTO	18	0	ALTO								
ÁREA 6 - Topolândia/ Itatinga	A6_S1	NATURAL	ESCORREGAMENTO RASO DE SOLO		40,00	ALTO	60	0	ALTO								
	A6_S1	CORTE	ESCORREGAMENTO SOLO/ROCHA		39,46	ALTO	60	0	ALTO								
	A6_S1	ATERRO	ESCORREGAMENTO		28,09	MÉDIO	60	0	MÉDIO								
	A6_S2	NATURAL	ESCORREGAMENTO RASO DE SOLO	FI2	54,32	MUITO ALTO	1	0	ALTO								
	A6_S2	CORTE	ESCORREGAMENTO SOLO/ROCHA	FI2	55,92	MUITO ALTO	1	0	ALTO								
	A6_S3	NATURAL	ESCORREGAMENTO RASO DE SOLO		40,00	ALTO	34	0	ALTO								
	A6_S3	CORTE	ESCORREGAMENTO SOLO/ROCHA		39,46	ALTO	34	0	ALTO								
	A6_S3	ATERRO	ESCORREGAMENTO		28,09	MÉDIO	34	0	MÉDIO								

Figura 5.22 – Resultados da análise de perigo realizada para os 41 índices de perigo

De acordo com a Figura 5.22, a média aritmética ($\bar{X}$) dos 41 valores de índice de perigo foi 32,40 e o desvio padrão (Δ) foi 11,19. Para avaliar a variabilidade dos resultados em relação à média foi calculado o coeficiente de variação que representa a razão entre o desvio padrão e a média aritmética. O valor do coeficiente de variação foi 0,3453, ou seja, menor que 0,4 (40%), indicando homogeneidade dos dados (entre 5 e 40%, indica uma amostragem homogênea).

Portanto substituindo os valores da média e do desvio padrão na expressão de IP = $\bar{X} \pm ½ \Delta$, têm-se: IP = 32,40 ± ½ 11,19, resultando nos valores de IP = 26,80 e IP = 37,99.

Os critérios utilizados na análise do perigo de escorregamento dos 21 setores resultantes do mapeamento com a aplicação do AHP é apresentada na Tabela 5.16.

Tabela 5.16 – Critérios aplicados na análise de perigo de escorregamento dos 21 setores mapeados com a aplicação do AHP.

Análise de Perigo de Escorregamento	
Índice de Perigo (IP)	**Grau de Perigo**
IP < 26,80	**BAIXO**
26,80 ≤ IP ≤ 37,99	**MÉDIO**
IP > 37,99	**ALTO**
Presença de feições de instabilidade	**MUITO ALTO**

A Tabela 5.17, a seguir, mostra a correlação entre os critérios da classificação do risco no método de mapeamento de escorregamentos adotado pelo Ministério das Cidades e a classificação do perigo no mapeamento com a aplicação do AHP.

Conforme mencionado no Capítulo 3 (item 3.4, na página 54), o grau de perigo muito alto foi definido de acordo com a metodologia do Ministério das Cidades, ou seja, com base na presença de evidências de instabilidade expressivas e presentes em grande número ou magnitude. Assim como nas demais classificações de perigo, nos setores classificados como perigo muito alto com a aplicação do AHP, os condicionantes geológico-geotécnicos serão sempre analisados, sendo possível verificar a contribuição de cada um deles no desenvolvimento de determinado processo de escorregamento.

Tabela 5.17 – Correlação entre os critérios da classificação de risco no método adotado pelo Ministério das Cidades e da classificação do perigo com a aplicação do Método AHP.

GRAU DE PERIGO	ÍNDICE DE PERIGO (IP)	DESCRIÇÃO
P1 Baixo	**IP < 26,80**	Os condicionantes geológicos- geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc) e o nível de intervalo no setor são de baixa potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos. Não há indícios de desenvolvimento de processos de instabilização de encostas. É a condição menos crítica. Mantidas as condições existentes, são muito reduzidas as possibilidades de ocorrência de eventos destrutivos no período de 1 ano.
P2 Médio	**26,80 ≤ IP ≤ 37,99**	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de média potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos. Mantidas as condições existentes, são médias as possibilidades de ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de 1 ano.
P3 Alto	**IP > 37,99**	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos. Mantidas as condições existentes, é perfeitamente possível a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de 1 ano.
P4 Muito Alto	**Presença de feições de instabilidade**	As evidências de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, trincas em moradias ou em muros de contenção, árvores ou postes inclinados, cicatrizes de escorregamento, etc) são expressivas e estão presentes em grande número ou magnitude. Processo de instabilização em avançado estágio de desenvolvimento. É a condição mais crítica, necessitando de intervenção imediata devido ao seu elevado estágio de desenvolvimento. Mantidas as condições existentes, é muito provável a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de 1 ano.

A Figura 5.23, a seguir, apresenta o resultado geral da análise de perigo para os diferentes tipos de processos de escorregamentos identificados nos setores de perigo. Nesta Figura observa-se que as seis áreas mapeadas para a aplicação do AHP representam 21 setores de perigo, cujos 21 graus de perigo finais foram obtidos a partir dos valores de 41 índices de perigo determinados para a natureza da encosta/talude e para os tipos de processos identificados. Na análise do perigo, cada setor pode ser avaliado em mais de um processo de escorregamento, entretanto o índice de perigo final adotado corresponderá ao grau de perigo mais crítico.

CLASSIFICAÇÃO FINAL DO PERIGO						
SETOR	ENCOSTA/TALUDE	PROCESSO	ANÁLISE DE PERIGO		ANÁLISE DE PERIGO	
			ÍNDICE	GRAU	ÍNDICE FINAL	GRAU FINAL
A1_S1	BLOCO_ROCHOSO	ROLAMENTO/DESPLACAMENTO	39,84	ALTO	39,84	MUITO ALTO
A1_S1	CORTE	ESC. SOLO/ROCHA	30,99	MÉDIO		
A1_S2	CORTE	ESC. SOLO/ROCHA	28,07	MÉDIO	28,07	MÉDIO
A1_S3	BLOCO_ROCHOSO	ROLAMENTO/DESPLACAMENTO	25,06	BAIXO	25,06	BAIXO
A2_S1	NATURAL	ESC. RASO DE SOLO	38,75	ALTO	38,75	ALTO
A2_S1	CORTE	ESC. SOLO/ROCHA	30,13	MÉDIO		
A2_S2	NATURAL	ESC. RASO DE SOLO	38,75	ALTO	38,75	ALTO
A2_S2	CORTE	ESC. SOLO/ROCHA	30,15	MÉDIO		
A2_S2	BLOCO_ROCHOSO	ROLAMENTO/DESPLACAMENTO	27,85	MÉDIO	27,85	MÉDIO
A2_S3	NATURAL	ESC. RASO DE SOLO	11,90	BAIXO	22,13	BAIXO
A2_S3	CORTE	ESC. SOLO/ROCHA	22,13	BAIXO		
A2_S3	ATERRO	ESCORREGAMENTO	17,42	BAIXO		
A3_S1	NATURAL	ESC. RASO DE SOLO	18,31	BAIXO	28,83	MÉDIO
A3_S1	CORTE	ESC. SOLO/ROCHA	28,83	MÉDIO		
A3_S1	ATERRO	ESCORREGAMENTO	24,15	BAIXO		
A3_S2	ATERRO	ESCORREGAMENTO	31,34	MÉDIO	31,34	MUITO ALTO
A3_S3	NATURAL	ESC. RASO DE SOLO	28,43	MÉDIO	28,43	MÉDIO
A3_S3	CORTE	ESC. SOLO/ROCHA	20,64	BAIXO		
A4_S1	CORTE	ESC. SOLO/ROCHA	43,67	ALTO	43,67	MUITO ALTO
A4_S1	ATERRO	ESCORREGAMENTO	36,28	MÉDIO		
A4_S2	NATURAL	ESC. RASO DE SOLO	13,42	BAIXO	14,47	BAIXO
A4_S2	CORTE	ESC. SOLO/ROCHA	14,47	BAIXO		
A4_S3	CORTE	ESC. SOLO/ROCHA	23,60	BAIXO	23,6	BAIXO
A4_S4	CORTE	ESC. SOLO/ROCHA	28,83	MÉDIO	28,83	MÉDIO
A5_S1	CORTE	ESC. SOLO/ROCHA	46,12	ALTO	46,12	ALTO
A5_S2	NATURAL	ESC. RASO DE SOLO	38,20	ALTO	38,2	ALTO
A5_S2	CORTE	ESC. SOLO/ROCHA	32,65	MÉDIO		
A5_S2	ATERRO	ESCORREGAMENTO	28,09	MÉDIO		
A5_S3	CORTE	ESC. SOLO/ROCHA	45,37	ALTO	45,37	ALTO
A5_S3	BLOCO_ROCHOSO	ROLAMENTO/DESPLACAMENTO	40,95	ALTO		
A5_S4	CORTE	ESC. SOLO/ROCHA	28,27	MÉDIO	28,27	MÉDIO
A5_S5	NATURAL	ESC. RASO DE SOLO	48,48	ALTO	51,42	ALTO
A5_S5	CORTE	ESC.SOLO/ROCHA	51,42	ALTO		
A6_S1	NATURAL	ESC. RASO DE SOLO	40,00	ALTO	40	ALTO
A6_S1	CORTE	ESC. SOLO/ROCHA	39,46	ALTO		
A6_S1	ATERRO	ESCORREGAMENTO	28,09	MÉDIO		
A6_S2	NATURAL	ESC. RASO DE SOLO	54,32	ALTO	55,92	MUITO ALTO
A6_S2	CORTE	ESC. SOLO/ROCHA	55,92	ALTO		
A6_S3	NATURAL	ESC. RASO DE SOLO	40,00	ALTO	40	ALTO
A6_S3	CORTE	ESC. SOLO/ROCHA	39,46	ALTO		
A6_S3	ATERRO	ESCORREGAMENTO	28,09	MÉDIO		

Figura 5.23 - Resultado geral da análise de perigo para os diferentes tipos de processos de escorregamentos identificados nos setores de perigo mapeados.

5.2. Aplicação da planilha de análise de perigo utilizando a opinião de especialistas

Como já mencionado anteriormente, os julgamentos da comparação par a par utilizados para a estruturação da matriz de decisão AHP dos indicadores de perigo e suas respectivas classes, foram realizados pela autora deste trabalho e estão descritos no Capítulo 5 (item 5.1.3., página 111).

Como forma de verificação da influência da subjetividade nos resultados da análise de perigo, foram escolhidos três especialistas em mapeamento de áreas de risco de

escorregamento para realizarem esses julgamentos. O especialista 1 com 28 anos de formado em Geologia e 27 anos de experiência em risco geológico-geotécnico e apresenta 7 anos recentes de atuação neste tipo de mapeamento; o especialista 2 possui 30 anos de formado em Geologia e 25 anos de experiência em risco geológico-geotécnico e apresenta 10 anos recentes de atuação neste tipo de mapeamento e; o especialista 3 possui 25 anos de formado em Geologia e 15 anos de experiência em risco geológico-geotécnico e apresenta 7 anos recentes de atuação neste tipo de mapeamento.

Os resultados das matrizes de decisão AHP dos indicadores de perigo e suas respectivas classes de atributos, obtidos para cada especialista, estão apresentadas no Apêndice C.

A Tabela 5.18 mostra os intervalos dos índices de perigo com a classificação correspondente, obtidos através dos julgamentos paritários dos especialistas.

Tabela 5.18 – Resultados dos critérios utilizados na análise do perigo de escorregamentos pelos três especialistas consultados e pela autora desta pesquisa.

Especialista 1	
Índice de Perigo (IP)	**Grau de Perigo**
IP < 29,91	**BAIXO**
29,91 ≤ IP ≤ 39,27	**MÉDIO**
IP > 39,27	**ALTO**
Presença de feições de instabilidade	**MUITO ALTO**
Especialista 2	
Índice de Perigo (IP)	**Grau de Perigo**
IP < 32,90	**BAIXO**
32,90 ≤ IP ≤ 41,12	**MÉDIO**
IP > 41,12	**ALTO**
Presença de feições de instabilidade	**MUITO ALTO**
Especialista 3	
Índice de Perigo (IP)	**Grau de Perigo**
IP < 31,19	**BAIXO**
31,19 ≤ IP ≤ 39,93	**MÉDIO**
IP > 39,93	**ALTO**
Presença de feições de instabilidade	**MUITO ALTO**
Autora desta pesquisa	
Índice de Perigo (IP)	**Grau de Perigo**
IP < 26,80	**BAIXO**
26,80 ≤ IP ≤ 37,99	**MÉDIO**
IP > 37,99	**ALTO**
Presença de feições de instabilidade	**MUITO ALTO**

A seguir são apresentados os resultados das análises de perigo com os julgamentos dos especialistas e da autora desta pesquisa para as seis áreas mapeadas com a aplicação do AHP.

5.2.1. Área 1 – Topolândia

A Tabela 5.19 mostra os resultados das análises de perigo da autora da presente pesquisa e dos três especialistas consultados.

Tabela 5.19 – Resultados da análise do perigo por meio das comparações par a par dos julgamentos da autora desta pesquisa e dos três especialistas consultados, na Área da Topolândia.

ÁREA 1 - TOPOLÂNDIA																
Mapeamento de perigo com aplicação do Método AHP																
Setor	Encosta/Talude	Processo	Feições de Instabilidade	Autora			Especialista 1			Especialista 2			Especialista 3			n° moradias
				Análise de Perigo			Análise de Perigo			Análise de Perigo			Análise de Perigo			
				IP	Grau	Grau final	IP	Grau	Grau	IP	Grau	Grau final	IP	Grau	Grau	
A1_S1	Bloco Rochoso	Rolamento/ desplacamento	Degraus de abatimento no solo	39,84	P3-Alto	P4-Muito Alto	40,39	P3-Alto	P4-Muito Alto	40,32	P3-Alto	P4-Muito Alto	46,08	P3-Alto	P4-Muito Alto	20
A1_S1	Talude de corte	Escorregamento solo/rocha	Degraus de abatimento no solo	30,13	P2-Médio	P4-Muito Alto	36,58	P2-Médio	P4-Muito Alto	39,93	P2-Médio	P4-Muito Alto	39,32	P2-Médio	P4-Muito Alto	
A1_S2	Talude de corte	Escorregamento solo/rocha	não	27,21	P2-Médio	P2-Médio	35,19	P2-Médio	P2-Médio	36,35	P2-Médio	P2-Médio	38,09	P2-Médio	P2-Médio	64
A1_S3	Bloco Rochoso	Rolamento/ desplacamento	não	25,06	P1-Baixo	P1-Baixo	20,62	P1-Baixo	P1-Baixo	26,51	P1-Baixo	P1-Baixo	22,52	P1-Baixo	P1-Baixo	1

Observa-se nesta Tabela que os resultados da classificação do perigo foram os mesmos obtidos para as quatro análises realizadas. Ocorreu variação nos valores dos índices de perigo.

5.2.2. Área 2 – Toque-Toque Pequeno

A Tabela 5.20 apresenta os resultados das análises de perigo realizadas pela autora desta pesquisa e pelos especialistas na área de Toque-Toque Pequeno.

Tabela 5.20 – Resultados da análise do perigo por meio das comparações par a par dos julgamentos da autora desta pesquisa e dos três especialistas consultados, na Área de Toque-Toque Pequeno.

ÁREA 2 - TOQUE-TOQUE PEQUENO																
Mapeamento de perigo com aplicação do Método AHP																
Setor	Encosta/ Talude	Processo	Feições de Instabilidade	Autora			Especialista 1			Especialista 2			Especialista 3			n° moradias
				Análise de Perigo			Análise de Perigo			Análise de Perigo			Análise de Perigo			
				IP	Grau	Grau final	IP	Grau	Grau final	IP	Grau	Grau final	IP	Grau	Grau final	
A2_S1	Natural	Escorregamento raso de solo	não	38,75	P3-Alto	P3-Alto	36,33	P2-Médio	P2-Médio	44,59	P3-Alto	P3-Alto	45,44	P3-Alto	P3-Alto	12
A2_S1	Corte	Escorregamento solo/rocha	não	30,13	P2-Médio		36,58	P2-Médio		39,93	P2-Médio		39,32	P2-Médio		
A2_S2	Natural	Escorregamento raso de solo	não	38,75	P3-Alto	P3-Alto	36,33	P2-Médio	P2-Médio	44,59	P3-Alto	P3-Alto	45,44	P3-Alto	P3-Alto	20
A2_S2	Corte	Escorregamento solo/rocha	não	30,15	P2-Médio		35,25	P2-Médio		38,61	P2-Médio		40,21	P2-Médio		
A2_S2	Bloco Rochoso	Rolamento/ desplacamento	não	27,85	P2-Médio		25,29	P1-Baixo		25,07	P2-Médio		25,47	P1-Baixo		
A2_S3	Natural	Escorregamento raso de solo	não	11,9	P1-Baixo	P1-Baixo	13,92	P1-Baixo	P1-Baixo	20,17	P1-Baixo	P1-Baixo	15,35	P1-Baixo	P1-Baixo	11
A2_S3	Corte	Escorregamento solo/rocha	não	22,13	P1-Baixo		27,77	P1-Baixo		31,21	P1-Baixo		30,79	P1-Baixo		
A2_S3	Aterro	Escorregamento	não	17,42	P1-Baixo		25	P1-Baixo		29,31	P1-Baixo		22,8	P1-Baixo		

Nesta área, conforme a Tabela 5.20, os resultados da classificação final do perigo de escorregamentos foram os mesmos resultados obtidos pela autora e pelos especialistas 2 e 3. O resultado da classificação final do perigo obtido pelo especialista 1 representa uma avaliação subestimada em relação às demais análises.

A análise de perigo para os setores A2_S1 e A2_S2, para o processo de escorregamento raso de solo em encosta natural, realizada pelo especialista 1, resultou em um grau de perigo médio, enquanto as demais análises resultaram em grau de perigo alto. Esta análise ocorreu devido à atribuição de peso pelo especialista 1 ser menor do que a dos demais especialistas para os indicadores de perigo amplitude e declividade, conforme mostra a Tabela 5.21.

Tabela 5.21 – Pesos dos indicadores de perigo amplitude e declividade, resultantes dos julgamentos da autora e dos três especialistas.

ENCOSTA/ TALUDE	PROCESSO	AMPLITUDE	Autora	Especialista 1	Especialista 2	Especialista 3	DECLIVIDADE	Autora	Especialista 1	Especialista 2	Especialista 3
			PESOS	PESOS	PESOS	PESOS		PESOS	PESOS	PESOS	PESOS
NATURAL	ESCORREGAMENTO RASO DE SOLO	(A1) ≤10 m	6,69	10,62	8,82	6,37	(D1) ≤17°	6,69	10,62	7,38	6,37
		(A2) 10<A≤20 m	22	26,05	24,31	26,74	(D2) 17°<D≤30°	22	26,05	28,28	26,74
		(A3) >20 m	71,32	63,33	66,87	66,89	(D3) >30°	71,32	63,33	64,34	66,89

5.2.3. Área 3 – Vila Baiana – Barra do Sahy

A Tabela 5.22 apresenta os resultados das análises de perigo realizadas pela autora desta pesquisa e pelos especialistas na área da Vila Baiana na Barra do Sahy.

Tabela 5.22 – Resultados da análise do perigo por meio das comparações par a par dos julgamentos da autora desta pesquisa e dos três especialistas consultados, na Área da Vila Baiana, Barra do Sahy.

ÁREA 3 - VILA BAIANA - BARRA DO SAHY																
Mapeamento de perigo com aplicação do Método AHP																
Setor	Encosta/ Talude	Processo	Feições de Instabilidade	Autora			Especialista 1			Especialista 2			Especialista 3			n° moradias
				Análise de Perigo			Análise de Perigo			Análise de Perigo			Análise de Perigo			
				IP	Grau	Grau final	IP	Grau	Grau final	IP	Grau	Grau final	IP	Grau	Grau final	
A3_S1	Natural	Escorregamento raso de solo	não	18,31	P1-Baixo	P2-Médio	18,17	P1-Baixo	P2-Médio	22,7	P1-Baixo	P2-Médio	23,62	P1-Baixo	P2-Médio	40
A3_S1	Corte	Escorregamento solo/rocha	não	28,83	P2-Médio		33,54	P2-Médio		38,29	P2-Médio		38,84	P2-Médio		
A3_S1	Aterro	Escorregamento	não	24,15	P1-Baixo		35,02	P2-Médio		32,94	P2-Médio		26,74	P1-Baixo		
A3_S2	Aterro	Escorregamento	trincas no piso e paredes; cicatriz	31,34	P2-Médio	P4-Muito Alto	38,75	P2-Médio	P4-Muito Alto	39,16	P2-Médio	P4-Muito Alto	39,53	P2-Médio	P4-Muito Alto	1
A3_S3	Natural	Escorregamento raso de solo	não	28,43	P2-Médio	P2-Médio	24,66	P1-Baixo	P1-Baixo	35,41	P2-Médio	P2-Médio	32,23	P2-Médio	P2-Médio	20
A3_S3	Corte	Escorregamento solo/rocha	não	20,64	P1-Baixo		26,98	P1-Baixo		29,73	P1-Baixo		29,90	P1-Baixo		

Para a área da Vila Baiana, os resultados da classificação final do perigo de escorregamento foram os mesmos obtidos nas classificações realizadas pela autora e pelos três especialistas. Observa-se na Tabela 5.22, que os resultados do grau de perigo no setor A3_S2, para o processo de escorregamento em talude de aterro, foram iguais nas quatro classificações, ou seja, grau de perigo foi classificado como médio.

No setor 3, os julgamentos realizados pelo especialista 1 para o processo de escorregamento natural foram menos conservadores que os demais especialistas.

5.2.4. Área 4 – Juquehy

A Tabela 5.23 apresenta os resultados das análises de perigo realizadas pela autora desta pesquisa e pelos três especialistas na área de Juquehy.

Tabela 5.23 – Resultados da análise do perigo por meio das comparações par a par dos julgamentos da autora desta pesquisa e dos três especialistas consultados, na Área de Juquehy.

ÁREA 4 - JUQUEHY																
Mapeamento de perigo com aplicação do Método AHP																
Setor	Encosta/ Talude	Processo	Feições de Instabilidade	Autora			Especialista 1			Especialista 2			Especialista 3			n° moradias
				Análise de Perigo			Análise de Perigo			Análise de Perigo			Análise de Perigo			
				IP	Grau	Grau final	IP	Grau	Grau final	IP	Grau	Grau final	IP	Grau	Grau final	
A4_S1	Corte	Escorregamento solo/rocha	trincas no piso e paredes	43,67	P3-Alto	P4-Muito Alto	44,03	P3-Alto	P4-Muito Alto	41,30	P3-Alto	P4-Muito Alto	43,09	P3-Alto	P4-Muito Alto	60
A4_S1	Aterro	Escorregamento	trincas no piso e paredes	36,28	P2-Médio		33,81	P2-Médio		34,07	P2-Médio		27,58	P1-Baixo		
A4_S2	Natural	Escorregamento raso de solo	não	13,42	P1-Baixo	P1-Baixo	15,17	P1-Baixo	P1-Baixo	20,85	P1-Baixo	P1-Baixo	18,13	P1-Baixo	P1-Baixo	10
A4_S2	Corte	Escorregamento solo/rocha	não	14,47	P1-Baixo		17,61	P1-Baixo		17,92	P1-Baixo		18,40	P1-Baixo		
A4_S3	Corte	Escorregamento solo/rocha	não	23,6	P1-Baixo	P1-Baixo	28,25	P1-Baixo	P1-Baixo	31,64	P1-Baixo	P1-Baixo	32,72	P2-Médio	P2-Médio	5
A4_S4	Corte	Escorregamento solo/rocha	não	28,83	P2-Médio	P2-Médio	33,54	P2-Médio	P2-Médio	38,29	P2-Médio	P2-Médio	38,84	P2-Médio	P2-Médio	14

Na área de Juquehy, o resultado da classificação final do perigo realizada pelo especialista 3 diferiu dos demais no setor A4_S3 para o processo de escorregamento de solo/rocha em talude de corte, resultando no grau de perigo médio. Esta classificação ocorreu devido à atribuição de pesos, pelo especialista 3, menores que os demais especialistas e autora para os indicadores de perigo: declividade, uso/cobertura e tipo de material para o processo de escorregamento de solo/rocha em taludes de corte.

No setor A4_S1 para o processo de escorregamento em talude de aterro, o grau de perigo resultante da avaliação do especialista 3 também diferiu dos demais, obtendo um grau de perigo baixo. Esta classificação ocorreu devido à atribuição de pesos, pelo especialista 3, menores que os demais especialistas, incluindo a autora para os indicadores de perigo: declividade, nível d'água e tipo de material para este tipo de processo.

5.2.5. Área 5 – Itatinga

A Tabela 5.24 apresenta os resultados das análises de perigo realizadas pela autora desta pesquisa e pelos três especialistas na área de Itatinga.

Tabela 5.24 – Resultados da análise do perigo por meio das comparações par a par dos julgamentos da autora desta pesquisa e dos três especialistas consultados, na Área de Itatinga.

ÁREA 5 - ITATINGA																
Mapeamento de perigo com aplicação do Método AHP																
Setor	Encosta/ Talude	Processo	Feições de Instabilidade	Autora			Especialista 1			Especialista 2			Especialista 3			n° moradias
				Análise de Perigo			Análise de Perigo			Análise de Perigo			Análise de Perigo			
				IP	Grau	Grau final	IP	Grau	Grau final	IP	Grau	Grau final	IP	Grau	Grau final	
A5_S1	Corte	Escorregamento solo/rocha	não	46,12	P3-Alto	P3-Alto	43,55	P3-Alto	P3-Alto	40,46	P2-Médio	P2-Médio	41,12	P3-Alto	P3-Alto	1
A5_S2	Natural	Escorregamento raso de solo	não	38,2	P3-Alto	P3-Alto	37,32	P2-Médio	P2-Médio	42,98	P3-Alto	P3-Alto	41,04	P3-Alto	P3-Alto	15
A5_S2	Corte	Escorregamento solo/rocha	não	32,65	P2-Médio		38,15	P2-Médio		42,50	P3-Alto		40,02	P3-Alto		
A5_S2	Aterro	Escorregamento	não	28,09	P2-Médio		33,30	P2-Médio		33,53	P2-Médio		30,96	P1-Baixo		
A5_S3	Corte	Escorregamento solo/rocha	não	45,37	P3-Alto	P3-Alto	43,07	P3-Alto	P3-Alto	40,61	P2-Médio	P3-Alto	36,64	P2-Médio	P3-Alto	30
A5_S3	Bloco Rochoso	Rolamento/ desplacamento	não	40,95	P3-Alto		46,70	P3-Alto		46,47	P3-Alto		44,88	P3-Alto		
A5_S4	Corte	Escorregamento solo/rocha	não	28,27	P2-Médio	P2-Médio	35,34	P2-Médio	P2-Médio	34,13	P2-Médio	P2-Médio	32,11	P2-Médio	P2-Médio	18
A5_S5	Natural	Escorregamento raso de solo	não	48,48	P3-Alto	P3-Alto	42,21	P3-Alto	P3-Alto	42,79	P3-Alto	P3-Alto	43,51	P3-Alto	P3-Alto	12
A5_S5	Corte	Escorregamento solo/rocha	não	51,42	P3-Alto		47,34	P3-Alto		46,17	P3-Alto		44,23	P3-Alto		

Conforme mostra a Tabela 5.24, na área de Itatinga, o resultado da classificação final do perigo realizada pelo especialista 2, diferiu dos demais no setor A5_S1 para o processo de escorregamento de solo/rocha em talude de corte, resultando no grau de perigo médio. Esta classificação ocorreu devido à atribuição de pesos menores do que os demais especialistas para os indicadores: estrutura geológica e nível d'água para o processo de escorregamento de solo/rocha em taludes de corte. Portanto, para o setor 1, o especialista 2 foi menos conservador que os demais na análise de perigo de escorregamentos de solo/rocha em taludes de corte.

No setor 2 (A5_S2), para dois tipos de processos de escorregamentos (de solo em encosta natural e de solo/rocha em talude de corte), o resultado do grau de perigo final médio, realizado pelo especialista 1 diferiu dos demais especialistas, que resultaram em grau de perigo alto. Neste mesmo setor, para processos de escorregamentos em taludes de corte, a avaliação de perigo médio realizado pela autora coincidiu com a avaliação do especialista 1.

Em resumo, no setor 2, o especialista 1 foi menos conservador que os demais na análise de perigo para o processo de escorregamentos rasos de solo em encostas naturais e assim como a autora; também foram menos conservadores na análise de perigo para o processo de escorregamentos de solo/rocha em taludes de corte.

No setor 3 a análise final resultando em grau de perigo médio, realizada pelos especialistas 2 e 3, diferiu da análise do especialista 1 e da autora, para o processo de escorregamento de solo/rocha em talude de corte. Portanto, os especialistas 2 e 3 foram menos conservadores na análise de perigo para escorregamentos de solo/rocha em taludes de corte.

5.2.6. Área 6 – Itatinga/Topolândia

A Tabela 5.25 apresenta os resultados das análises de perigo realizadas pela autora desta pesquisa e pelos três especialistas na área de Itatinga/Topolândia.

Tabela 5.25 – Resultados da análise do perigo por meio das comparações par a par dos julgamentos da autora desta pesquisa e dos três especialistas consultados, na Área de Itatinga/Topolândia

ÁREA 6 - ITATINGA/TOPOLÂNDIA																
Mapeamento de perigo com aplicação do Método AHP																
Setor	Encosta/ Talude	Processo	Feições de Instabilidade	Autora			Especialista 1			Especialista 2			Especialista 3			n° moradias
				Análise de Perigo			Análise de Perigo			Análise de Perigo			Análise de Perigo			
				IP	Grau	Grau final	IP	Grau	Grau final	IP	Grau	Grau final	IP	Grau	Grau final	
A6_S1	Natural	Escorregamento raso de solo	não	40	P3-Alto	P3-Alto	40,59	P3-Alto	P3-Alto	45,59	P3-Alto	P3-Alto	42,35	P3-Alto	P3-Alto	60
A6_S1	Corte	Escorregamento solo/rocha	não	39,46	P3-Alto		43,29	P3-Alto		45,62	P3-Alto		41,31	P3-Alto		
A6_S1	Aterro	Escorregamento	não	28,09	P2-Médio		33,30	P2-Médio		33,53	P2-Médio		30,96	P1-Baixo		
A6_S2	Natural	Escorregamento raso de solo	cicatriz de escorregamento	54,32	P3-Alto	P4 - Muito Alto	51,04	P3-Alto	P4- Muito Alto	48,81	P3-Alto	P4- Muito Alto	47,35	P3-Alto	P4- Muito Alto	1
A6_S2	Corte	Escorregamento solo/rocha	cicatriz de escorregamento	55,92	P3-Alto		52,12	P3-Alto		50,57	P3-Alto		46,30	P3-Alto		
A6_S3	Natural	Escorregamento raso de solo	não	40	P3-Alto	P3-Alto	40,59	P3-Alto	P3-Alto	45,59	P3-Alto	P3-Alto	42,35	P3-Alto	P3-Alto	34
A6_S3	Corte	Escorregamento solo/rocha	não	39,46	P3-Alto		43,29	P3-Alto		45,62	P3-Alto		41,31	P3-Alto		
A6_S3	Aterro	Escorregamento	não	28,09	P2-Médio		33,30	P2-Médio		33,53	P2-Médio		30,96	P1-Baixo		

Nos setores A6_S1 e A6_S3, para o processo de escorregamento em talude de aterro, o grau de perigo do pesquisador 3 também diferiu dos demais, resultando em grau de perigo baixo, pelos mesmos motivos apresentados na Área 4 em Juquehy.

5.3. Comparação dos setores de risco e de perigo resultantes dos mapeamentos

A caracterização das seis áreas de perigo mapeadas por meio de investigações de superfície, identificando os condicionantes naturais e induzidos dos processos de escorregamento e as evidências de instabilidade, apresentada no Capítulo 4 (item 4.2., página 77), ou seja, as observações realizadas em campo são as mesmas para os dois mapeamentos: de risco de escorregamentos realizado pelo IG-SMA em 2005 (SMA, 2006) e mapeamento de perigo com a aplicação do AHP, realizado em 2009.

A seguir são apresentadas as análises de perigo obtidas por meio do método AHP e do mapeamento de risco realizado pelo IG-SMA (SMA, 2006), nas seis áreas. Novamente são apresentados os resultados da análise de perigo com base nos julgamentos paritários realizados pela autora desta e pesquisa, de modo a comparar com os resultados da análise de risco do mapeamento do IG-SMA.

Ressalta-se que as comparações dos dois mapeamentos realizadas nas áreas identificadas como Área 1 – Topolândia e Área 4 - Juquehy ficaram prejudicadas devido a diferenciação na delimitação dos setores de risco e perigo. Esta diferenciação ocorreu devido a utilização de critérios diferentes na delimitação dos setores. No mapeamento de risco realizado pelo IG-SMA (SMA, 2006) não ficou claro quais critérios foram utilizados para essas duas áreas. No mapeamento de perigo com a aplicação da AHP os procedimentos utilizados na delimitação dos setores estão descritos no Capítulo 3 (item 3.5.3, página 58).

Apesar de ocorrer a diferenciação de setorização nessas áreas, julgou-se necessário tentar estabelecer uma comparação, de forma a destacar também a importância da padronização dos critérios de setorização antes de aplicar o método AHP.

5.3.1. Área _1: Topolândia

A Tabela 5.26 mostra os resultados obtidos no mapeamento de risco do IG-SMA (SMA, 2006) e no mapeamento de perigo com a aplicação do AHP, na área da Topolândia.

Tabela 5.26 – Resultados do grau de risco no mapeamento do IG-SMA e da análise do perigo no mapeamento com a aplicação do AHP para a Área da Topolândia.

ÁREA 1 - TOPOLÂNDIA			
Mapeamento de risco IG-SMA			
Setor	Processo adverso	Grau de risco	nº de moradias ameaçadas
A1_S1	Escorregamento em solo, queda e rolamento de blocos rochosos	R4 - Muito Alto	05
A1_S2	Escorregamento em solo, queda e rolamento de blocos rochosos	R3 - Alto	35
A1_S3	Escorregamento em solo e rolamento de blocos rochosos	R2 - Médio	40
A1_S4	Escorregamento em solo e rolamento de blocos rochosos	R4 - Muito Alto	05

Mapeamento de perigo com aplicação do Método AHP							
Setor	Encosta/ Talude	Processo	Feições de Instabilidade	Análise de Perigo			n°moradias ameaçadas
				IP	Grau	Grau final	
A1_S1	Bloco Rochoso	Rolamento/ desplacamento	Degraus de abatimento no solo	39,84	P3-Alto	P4-Muito Alto	20
A1_S1	Talude de corte	Escorregamento solo/rocha	Degraus de abatimento no solo	30,13	P2-Médio	P4-Muito Alto	
A1_S2	Talude de corte	Escorregamento solo/rocha	não	27,21	P2-Médio	P2-Médio	64
A1_S3	Bloco Rochoso	Rolamento/ desplacamento	não	25,06	P1-Baixo	P1-Baixo	1

No mapeamento de risco do IG-SMA (SMA, 2006) foram delimitados quatro setores de risco, conforme apresentado na Tabela 5.26 e na Figura 5.24:

- setor situado na base do núcleo de ocupação, com grau de risco médio (denominado A1/S2/R2);
- setor com grau de risco alto, denominado A1/S2/R3, situado na porção superior central da ocupação;
- dois detores com grau de risco muito alto denominados A1/S1/R4 (situado na porção superior da ocupação, a leste) e A1/S4/R4 (situado na porção superior da ocupação, a oeste). A atribuição do risco muito alto ocorreu devido a presença de feições erosivas e degraus de abatimento, observados nos trabalhos de campo de 2005.

Os condicionantes que contribuíram para a classificação do grau de risco nos setores mapeados pelo IG-SMA estão descritos no Capítulo 5 (item 5.1., página 102).

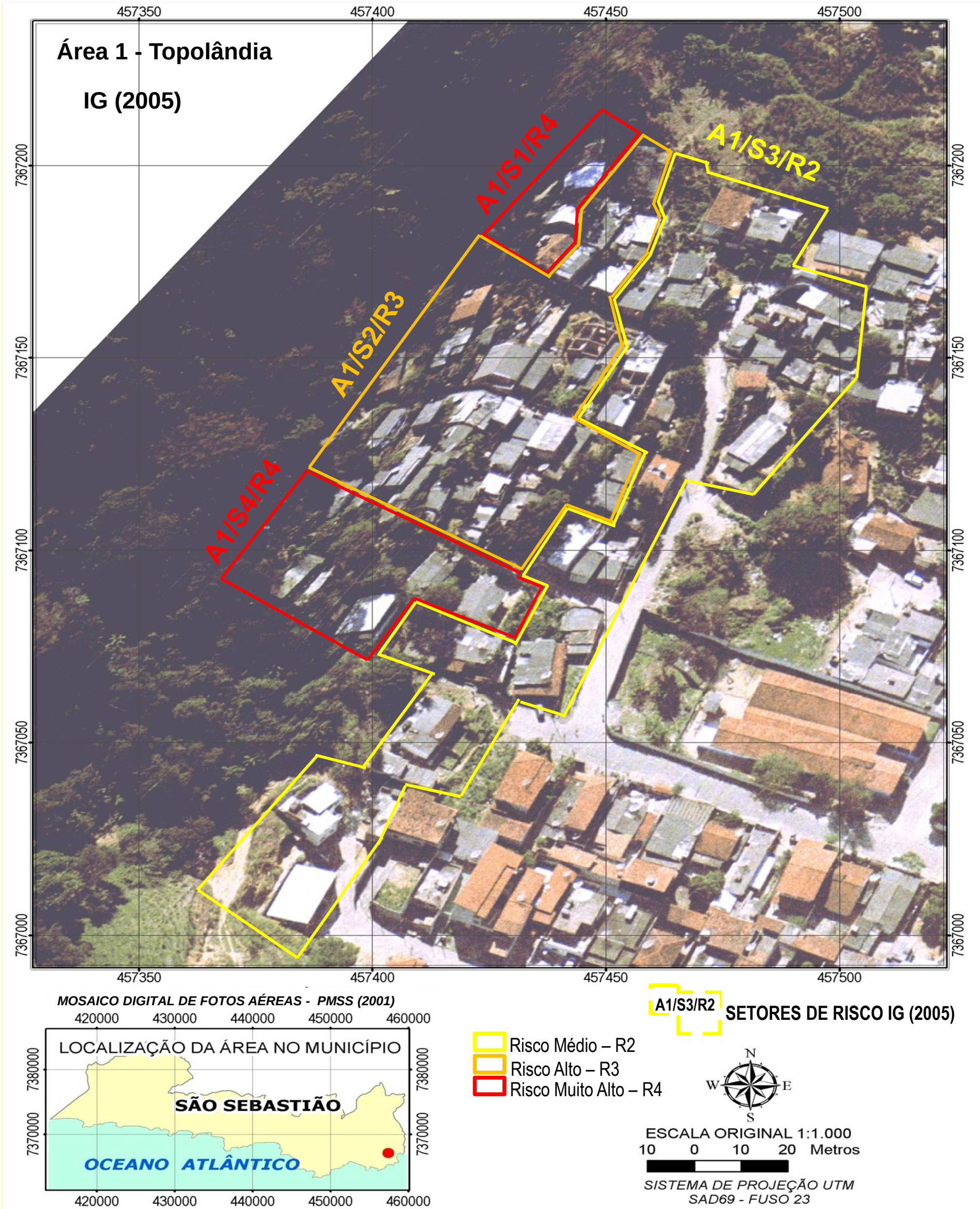

Figura 5.24 – Mapeamento de risco de escorregamentos realizado pelo IG-SMA na Área da Topolândia

Na realização do mapeamento de perigo com a aplicação do AHP foram delimitados 03 setores de perigo, conforma mostram a Tabela 5.25 e a Figura 5.25. O critério utilizado na delimitação dos setores foi a posição da ocupação na encosta, de forma que:

- o setor A1/S1/P4, de acordo com a descrição realizada no Capítulo 4 (item 4.2.1, páginas 77 e 78), há a possibilidade de atingimento das moradias por blocos rochosos provenientes de porções da encosta situada à montante. Fato este que motivou a extensão do limite superior do setor, conforme observa-se na Figura 5.25. Este setor foi classificado como perigo alto, de acordo com o valor do índice de perigo obtido pelo AHP (Tabela 5.25), mas devido a presença de feições de instabilidade significativas, tais como degraus de abatimento, a classificação final foi de perigo muito alto;
- -setor A1/S2/P2 – situado na base e meio da encosta, no núcleo de ocupação com possibilidade de atingimento caso ocorra processos de instabilização no setor 1. Observa-se que parte do setor delimitado e classificado como risco alto (A1/S2/R3) no mapeamento de risco IG-SMA foi englobado neste setor.

Os indicadores de perigo responsáveis pelo valor do IP e da classificação de perigo médio para escorregamento em talude de corte foram: amplitude e declividade excessivas, cobertura urbana e presença de depósito natural (tálus/colúvio).

- setor A1/S3/P1 – com grau de perigo baixo. Este setor foi delimitado como forma de se verificar a avaliação de perigo de uma moradia que foi construída em cima de blocos rochosos fraturados. A obtenção de um grau de perigo baixo mostrou que esta moradia poderia ser englobada no setor vizinho com grau de perigo médio, em vez de ficar isolada como proposto.

Os resultados da delimitação dos setores e da classificação do perigo com a aplicação do AHP foram mais coerentes que os apresentados pelo IG-SMA (SMA, 2006), em razão, por exemplo, da delimitação do setor 1, situado em meia encosta e posicionado à jusante de encosta natural, sem ocupação e com de afloramentos rochosos em forma de paredões, além da presença de matacões dispersos no solo, conforme descrito no Capítulo 4 (item 4.2.1, páginas 77 e 78).

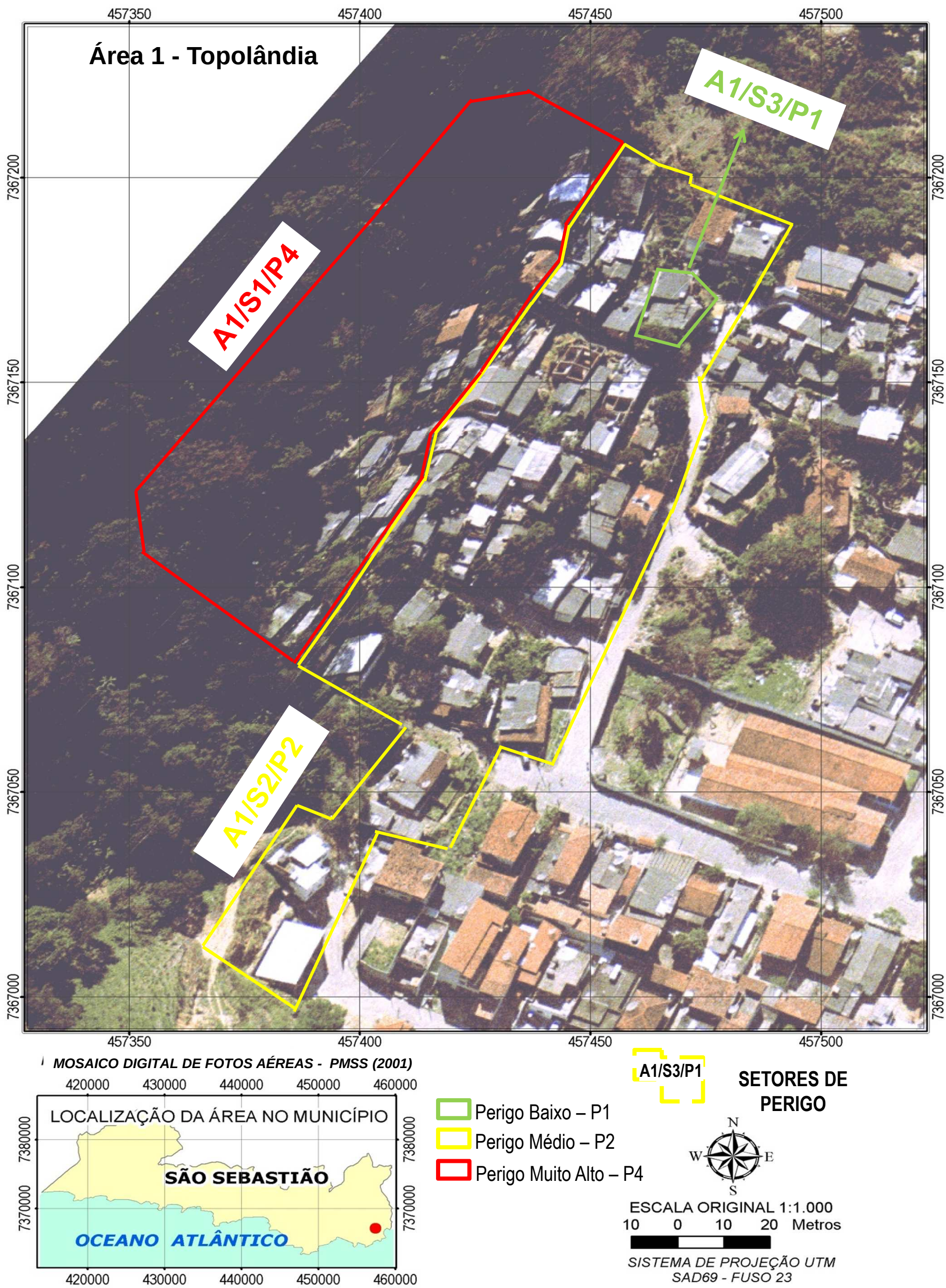

Figura 5.25 – Mapeamento de perigo de escorregamentos com a aplicação do Método AHP na Área da Topolândia

5.3.2. Área _2: Toque-toque pequeno.

Na Área de Toque-Toque Pequeno a delimitação dos setores no mapeamento de risco do IG-SMA e do mapeamento de perigo com a aplicação do AHP realizou-se de modo semelhante.

No mapeamento de risco do IG-SMA foram delimitados três setores de risco. Dois setores, classificados como risco médio para escorregamentos em solo e um classificado como risco médio para escorregamentos e rolamento de blocos rochosos, conforme indicado na Tabela 5.27.

No mapeamento de perigo com a aplicação do Método AHP foram delimitados os mesmos setores do mapeamento de risco do IG-SMA. Na análise do perigo para o setor 1, foram determinados dois índices de perigo para os diferentes tipos de processos identificados nos trabalhos de campo; um índice de perigo de 38,75 com grau de perigo alto para escorregamento raso de solo em encosta natural e outro índice de perigo de 30,13 com grau de perigo médio para escorregamento de solo em talude de corte. O índice de perigo de maior valor foi considerado como índice de perigo final, ou seja, conforme a Tabela 5.27 adotou-se o índice de perigo de 38,75 com grau de perigo alto para escorregamento raso de solo em encostas naturais. Os indicadores de perigo responsáveis por esses valores foram: amplitude e declividade excessivas das encostas naturais; e presença de vazamentos em mangueiras de abastecimento, gerando águas superficiais com concentração média.

No setor 2 foi obtido o índice de perigo final de 38,75 para o processo de escorregamento raso de solo em encosta natural, com grau de perigo alto. Neste setor foram analisados três tipos de processos: escorregamento raso de solo em encostas naturais, escorregamento em taludes de corte e rolamento/desplacamento de blocos rochosos. Os indicadores de perigo responsáveis pelo perigo alto foram: a declividade e a amplitude excessivas das encostas naturais.

No setor 3, analisou-se o perigo para três tipos de processos diferentes: escorregamento raso de solo em encosta natural, escorregamento em talude de corte e escorregamento em aterro. Para os três tipos de processo o grau de perigo foi classificado como baixo, adotando-se o maior valor do índice de perigo.

Comparando-se os dois mapeamentos: observa-se que no mapeamento de perigo com a aplicação do AHP, os setores 1 e 2 possuem declividades e amplitudes excessivas e num deles há concentração de água superficial devido à vazamentos em mangueiras (setor

1). No setor 3 os indicadores de perigo de escorregamentos não são relevantes, obtendo índice e grau de perigo baixo; no mapeamento de risco do IG-SMA os três setores foram classificados como risco médio.

Tabela 5.27 – Resultados do grau de risco no mapeamento do IG-SMA e da análise do perigo no mapeamento com a aplicação do AHP para a Área de Toque-Toque Pequeno.

ÁREA 2 – TOQUE-TOQUE PEQUENO			
Mapeamento de risco IG-SMA			
Setor	Processo adverso	Grau de risco	nº de moradias ameaçadas
A2_S1	Escorregamento em solo	R2 - Médio	12
A2_S2	Esc. em solo e rolamento de blocos	R2 - Médio	20
A2_S3	Escorregamento em solo	R2 - Médio	11

Mapeamento de perigo com aplicação do Método AHP							
Setor	Encosta/ Talude	Processo	Feições de Instabilidade	Análise de Perigo			n°moradias ameaçadas
				IP	Grau	Grau Final	
A2_S1	Natural	Esc. raso de solo	não	38,75	P3-Alto	P3-Alto	12
A2_S1	Corte	Esc. solo/rocha	não	30,13	P2-Médio		
A2_S2	Natural	Esc. raso de solo	não	38,75	P3-Alto	P3-Alto	20
A2_S2	Corte	Esc solo/rocha	não	30,15	P2-Médio		
A2_S2	Bloco rochoso	Rolamento/ Desplacamento	não	27,85	P2-Médio		
A2_S3	Natural	Esc. raso de solo	não	11,90	P1-Baixo	P1-Baixo	11
A2_S3	Corte	Esc. solo/rocha	não	22,13	P1-Baixo		
A2_S3	Aterro	Escorregamento	não	17,42	P1-Baixo		

A Figura 5.26 mostra os resultados do mapeamento realizado pelo IG-SMA e a Figura 5.27 mostra a análise de perigo de escorregamentos do mapeamento com a aplicação do AHP.

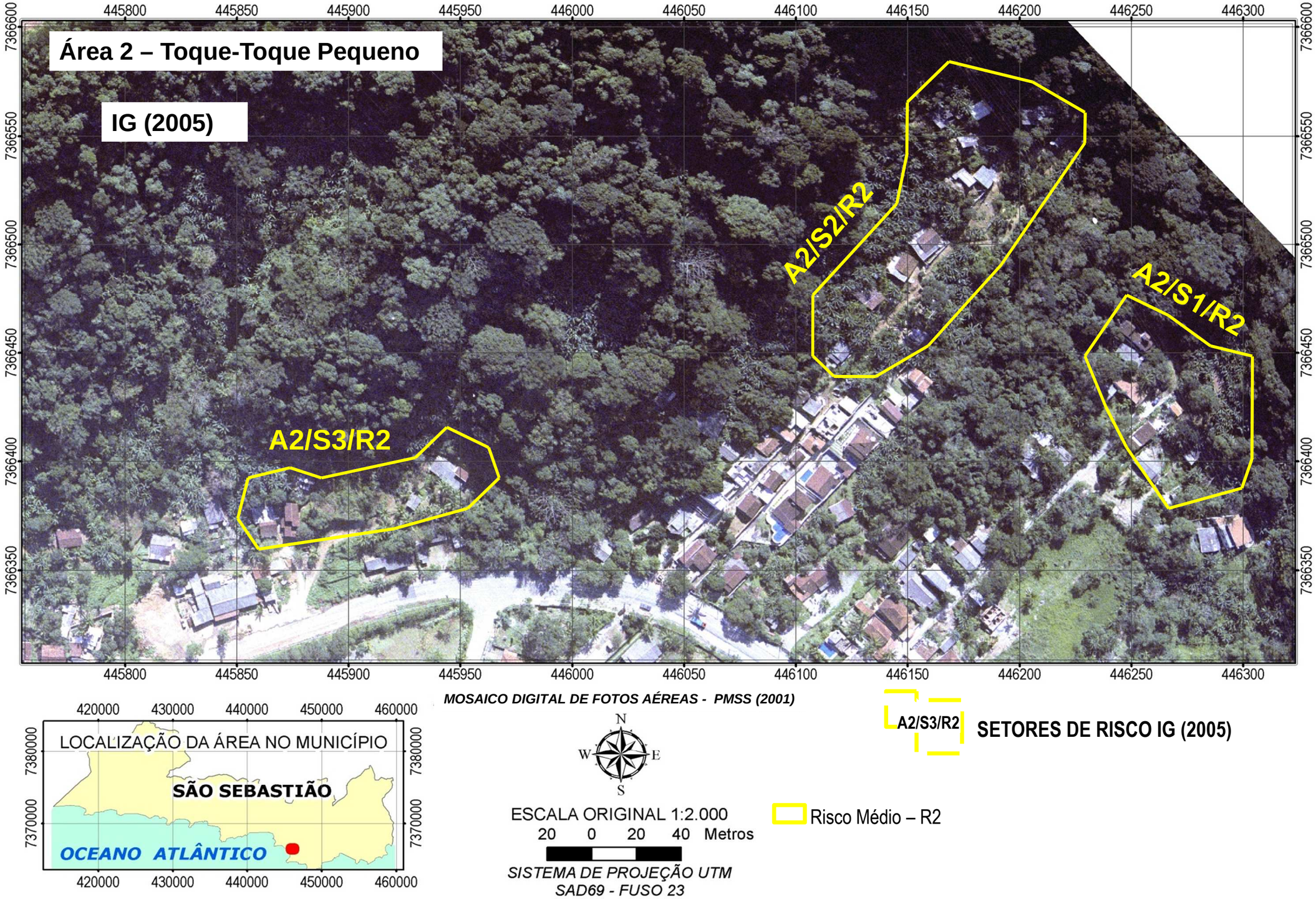

Figura 5.26 - Mapeamento de risco de escorregamentos realizado pelo IG-SMA na Área de Toque- Toque Pequeno.

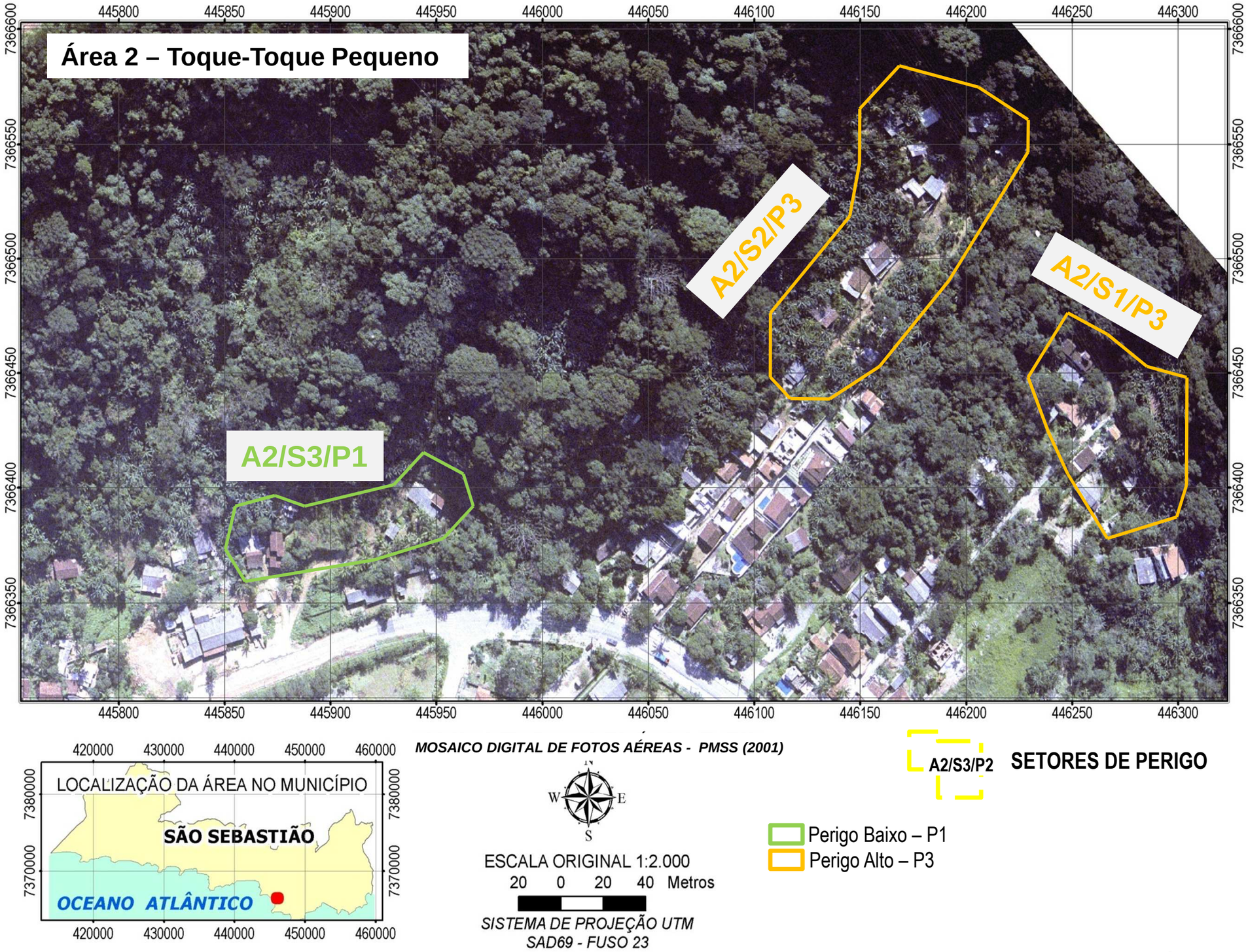

Figura 5.27 – Mapeamento de perigo de escorregamentos com a aplicação do Método AHP para a Área de Toque-Toque Pequeno

5.3.3. Área 3: Vila Baiana – Barra do Sahy

A delimitação dos setores de risco do mapeamento do IG-SMA e de perigo com a aplicação do AHP foi realizada de forma semelhante na Área da Vila Baiana. Foram delimitados três setores.

De acordo com a Tabela 5.28, no mapeamento realizado pelo IG-SMA o setor 1 foi classificado como de risco alto para escorregamentos em solo e aterro. O setor 2 como de risco muito alto para escorregamentos em solo e aterro, devido a presença de feições de instabilidade em uma moradia, tais como: trincas no piso e parede, além de cicatriz de escorregamento em aterro. O setor 3 apresenta grau de risco médio para escorregamento em solo.

No mapeamento de perigo com a aplicação do AHP, no setor 1 foram identificadas probabilidades de ocorrências de escorregamentos em: taludes de corte, encosta natural e aterro. De acordo com a Tabela 5.28, o maior valor do índice de perigo foi de 28,83 e consequentemente o grau de perigo médio foi atribuído ao processo de escorregamento em talude de corte. Os atributos responsáveis por essa classificação conforme os julgamentos paritários atribuídos na matriz de decisão AHP, foram: amplitude e altura excessivas nos taludes de corte, presença de solo exposto.

O setor 2 foi classificado com grau de perigo médio para escorregamentos em taludes de aterro de acordo com os julgamentos da matriz de decisão AHP, entretanto, devido à presença de feições de instabilidade significativas, a classificação final do perigo foi muito alto.

No setor 3 o maior índice de perigo foi de 28,43, com grau de perigo médio para escorregamento raso de solo em encostas naturais. O indicador de perigo responsável pela classificação de perigo médio foi a declividade excessiva.

Tabela 5.28 – Resultados do grau de risco no mapeamento do IG-SMA e da análise do perigo no mapeamento com a aplicação do AHP para a Área da Vila Baiana – Barra do Sahy.

ÁREA 3 – VILA BAIANA – BARRA DO SAHY			
Mapeamento de risco IG-SMA			
Setor	Processo adverso	Grau de risco	nº de moradias ameaçadas
A3_S1	Escorregamento em solo/aterro	R3 - Alto	40
A3_S2	Escorregamento em solo/aterro	R4 - Muito Alto	1
A3_S3	Escorregamento em solo	R2 - Médio	20

Mapeamento de perigo com aplicação do Método AHP							
Setor	Encosta/ Talude	Processo	Feições de Instabilidade	Análise de Perigo			n°moradias ameaçadas
				IP	Grau	Grau Final	
A3_S1	natural	Esc. raso de solo	não	18,31	P1-Baixo	P2 Médio	40
A3_S1	corte	Esc.solo/rocha	não	28,83	P2-Médio		
A3_S1	aterro	Escorregamento	não	24,15	P1-Baixo		
A3_S2	aterro	Escorregamento	trincas no piso e paredes; cicatriz	31,34	P2-Médio	P4 Muito Alto	1
A3_S3	natural	Esc.raso de solo	não	28,43	P2-Médio	P2 Médio	20
A3_S3	corte	Esc.solo/rocha	não	20,64	P1-Baixo		

As Figuras 5.28 e 5.29 apresentam as cenas dos mapeamentos de risco realizado pelo IG-SMA e de perigo com a aplicação do AHP, respectivamente.

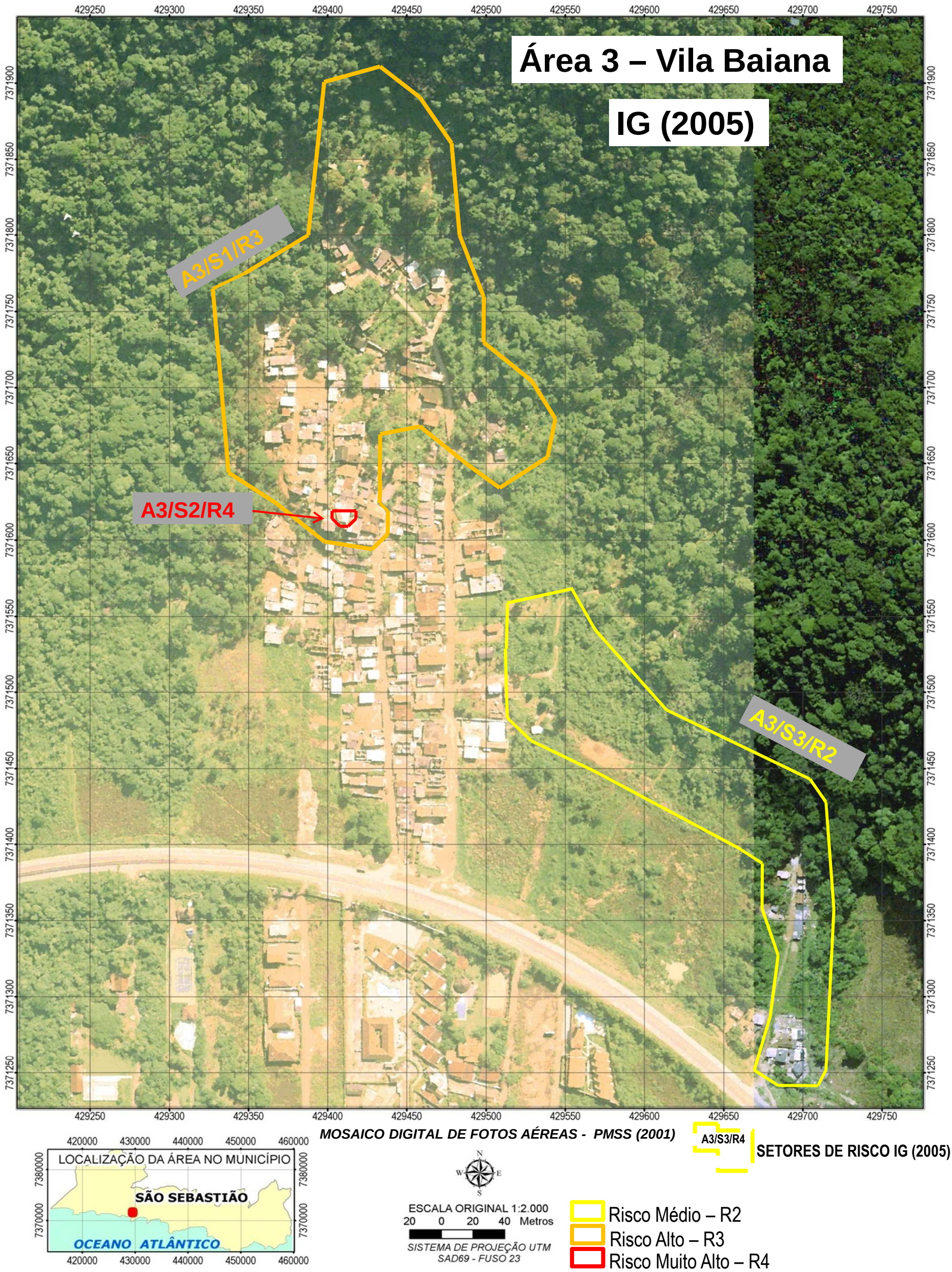

Figura 5.28 – Mapeamento de risco de escorregamentos realizado pelo IG-SMA na Área da Vila Baiana

Figura 5.29 – Mapeamento de perigo de escorregamentos com a aplicação do Método AHP na Área da Vila Baiana

5.3.4. Área 4: Juquehy

De acordo com os resultados dos mapeamentos de risco e de perigo observados nas cenas apresentadas nas Figuras 5.30 e 5.31, respectivamente, a delimitação dos setores na Área de Juquehy foi realizada de forma distinta:

- No mapeamento de risco do IG-SMA o setor 1 englobou um núcleo de ocupação instalado em um depósito de tálus e outro núcleo situado na base de uma encosta natural. No mapeamento de perigo com a aplicação do AHP esses dois núcleos foram separados em dois setores distintos, pois no depósito de tálus existem várias evidências de movimentação. Portanto, ocorreria grande generalização na análise do perigo se fosse atribuído o mesmo índice e grau de perigo para a ocupação situada na base da encosta;
- A delimitação do setor 3, no mapeamento de perigo com a aplicação do AHP, ocorreu de foram a analisar o perigo do núcleo de ocupação instalado na base de uma antiga área de empréstimo para retirada de saibro.

A delimitação do setor 3 do mapeamento de risco do IG-SMA é semelhante a do setor 4 do mapeamento de perigo com a aplicação do AHP.

A Tabela 5.29 mostra as análises de risco e perigo. Na análise de perigo com a aplicação do AHP, o setor 1 o maior valor do índice de perigo obtido por meio da técnica AHP foi de 43,67, obtendo a classificação de perigo alto para escorregamentos em taludes de corte, mas devido a presença de feições de instabilidade (trincas em piso e paredes, cicatrizes de escorregamentos), a classificação final foi de perigo muito alto. Além disso, existem registros de escorregamentos e demolições de moradias na área. Os indicadores de perigo de maior importância identificados no setor, além das feições de instabilidade, foram: surgências, presença de depósito de tálus, concentração média de águas superficiais por meio de vazamentos em mangueiras e cobertura urbana.

Em relação à cobertura urbana observou-se que as moradias estão sendo construídas muito próximas e com a ocorrência do processo de rastejo, uma casa esta sendo “empurrada” sobre a outra.

O setor 2 na análise de perigo com aplicação do AHP foi classificado como baixo para os processos de escorregamento raso em solo em encostas naturais e escorregamentos em talude de corte. Observar que este setor foi englobado como setor 1 no mapeamento do

IG-SMA e classificado como muito alto. Talvez este fato tenha ocorrido devido a interpretação deste setor como extensão do corpo de tálus, o que não foi verificado em campo nos trabalhos com a aplicação do AHP.

O índice de perigo obtido para o setor 3, que corresponde à ocupação situada na base de área de empréstimo, foi de 23,60 e o grau de perigo foi classificado como baixo para escorregamentos em taludes de corte.

No setor 4 o perigo foi classificado como médio e o índice de perigo obtido foi de 28,83 para processos de escorregamento em taludes de corte. Os indicadores de perigo responsáveis por essa classificação foram: amplitude e declividade excessivas dos cortes, presença de solo exposto, concentração alta de águas superficiais devido a vazamentos em tubulações e lançamento de esgoto. No mapeamento de risco do IG-SMA esse setor corresponde ao setor 2 e foi classificado como de risco alto. Observa-se que houve uma tendência no julgamento do especialista no mapeamento do IG em superestimar o grau de risco.

Tabela 5.29 – Resultados do grau de risco no mapeamento do IG-SMA e da análise do perigo no mapeamento com a aplicação do AHP para a Área de Juquehy.

ÁREA 4 – JUQUEHY							
Mapeamento de risco IG-SMA							
Setor	Processo adverso		Grau de risco		nº de moradias ameaçadas		
A4_S1	Escorregamento em tálus		R4 - Muito Alto		70		
A4_S2	Escorregamento em solo		R3 - Alto		14		
Mapeamento de perigo com aplicação do Método AHP							
Setor	Encosta/ Talude	Processo	Feições de Instabilidade	Análise de Perigo			n°moradias ameaçadas
				IP	Grau	Grau Final	
A4_S1	corte	Esc. solo/rocha	Trincas no piso e paredes	43,67	P3-Alto	P4-Muito Alto	60
A4_S1	aterro	Escorregamento	Trincas no piso e paredes	36,28	P2-Médio	P4-Muito Alto	
A4_S2	natural	Esc. raso de solo	não	13,42	P1-Baixo	P1-Baixo	10
A4_S2	corte	Esc. solo/rocha	não	14,47	P1-Baixo		
A4_S3	corte	Esc. solo/rocha	não	23,60	P1-Baixo	P1-Baixo	5
A4_S4	corte	Esc. solo/rocha	não	28,83	P2-Médio	P2-Médio	14

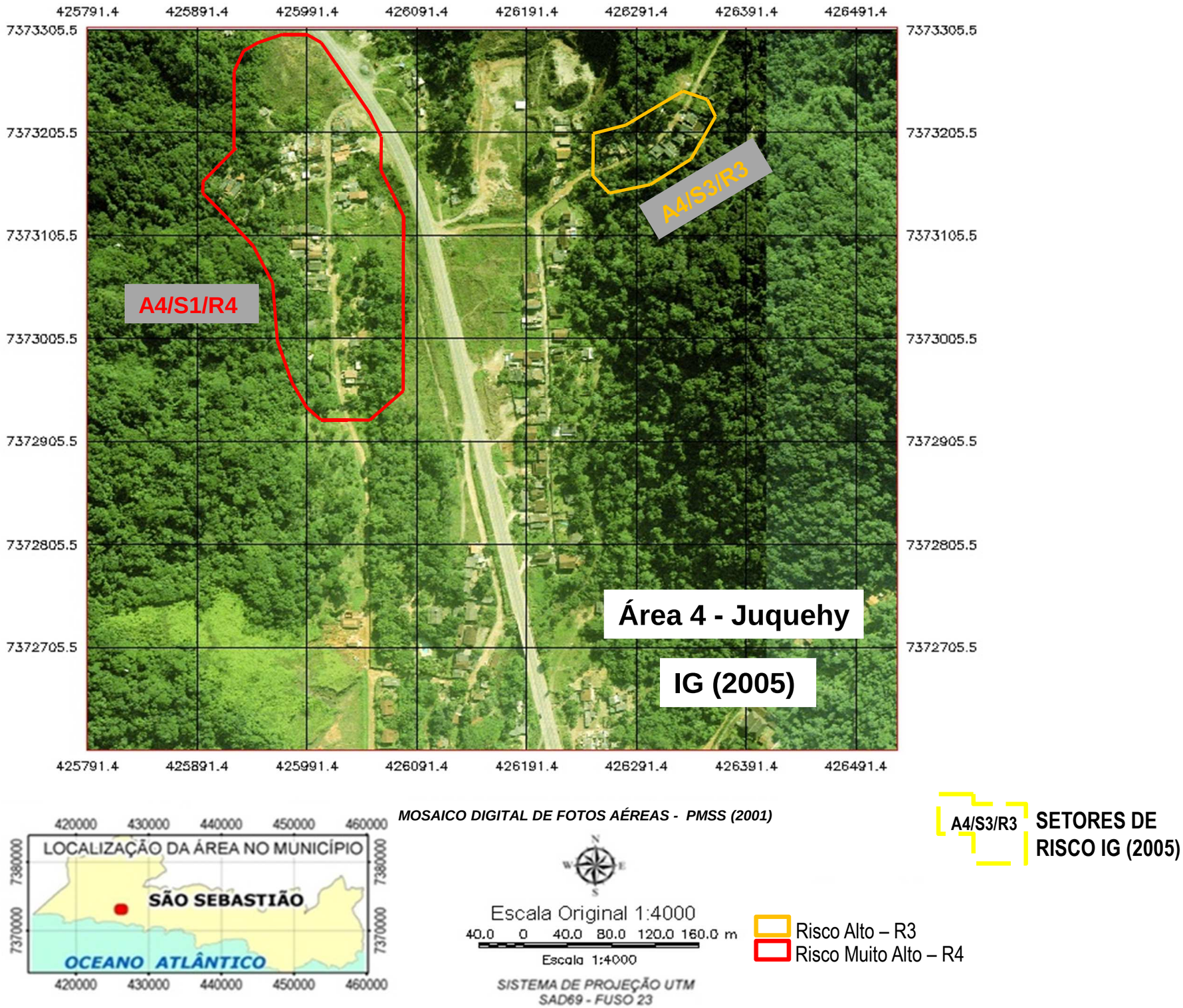

Figura 5.30– Mapeamento de risco de escorregamentos realizado pelo IG-SMA na Área de Juquehy

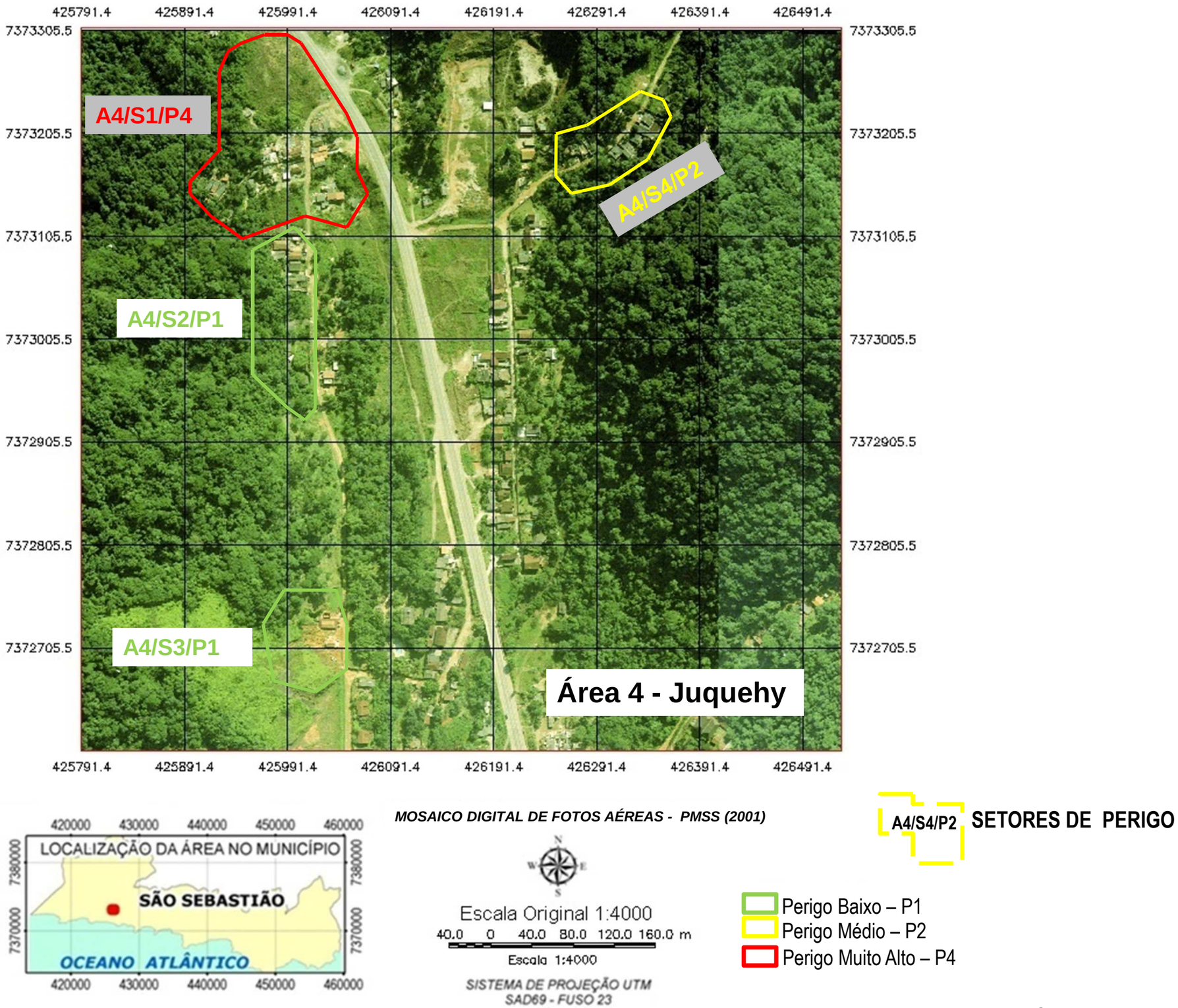

Figura 5.31 – Mapeamento de perigo de escorregamentos com a aplicação do Método AHP na Área de Juquehy

5.3.5. Área 5: Itatinga

A delimitação de quatro setores de risco e de perigo na área de Itatinga foi realizada de forma semelhante nos dois mapeamentos.

Os resultados dos mapeamentos de risco e perigo estão indicados na Tabela 5.30.

No mapeamento de perigo com a aplicação do AHP, para o setor 1 (representado por 1 moradia) foi obtido um índice de perigo de 46,12 e o grau de perigo foi classificado como alto para processos de escorregamentos em taludes de corte. Os indicadores de perigo identificados neste setor e responsáveis por essa classificação de perigo foram: amplitude e declividade excessivas, cobertura urbana, surgência do nível d'água, concentração média de águas superficiais, rocha alterada e presença de estruturas geológicas desfavoráveis à estabilidade.

No setor 2 o maior valor do índice de perigo foi 38,20 e o grau de perigo foi classificado como alto para processos de escorregamentos rasos de solo em encostas naturais. Os indicadores de perigo identificados neste setor e responsáveis por essa classificação de perigo foram: declividade alta, solo exposto, ocupação situada em linha de drenagem, representando uma condição de solo muito úmido, podendo atingir rapidamente a saturação com a pluviosidade.

No mapeamento de risco do IG-SMA, o grau de risco dos setores 1 e 2 foram classificados como médio para escorregamentos em solo.

Nos setores 3 e 4 os graus de risco e de perigo coincidem nos dois mapeamentos.

No setor 3, o maior valor do índice de perigo foi 45,37 correspondendo ao grau de perigo alto para processos de escorregamento em taludes de corte. Os indicadores de perigo responsáveis por essa classificação foram: declividade alta, surgência do nível d'água, concentração média de águas superficiais, presença de rocha alterada, com estrutura geológica desfavorável à estabilidade do talude de corte.

No setor 4 o grau de perigo foi classificado com grau de perigo médio (IP = 28,27) para escorregamentos de rocha em taludes de cortes. Os indicadores de perigo determinantes desta classificação foram: declividade alta dos taludes de corte, rocha alterada com presença de estrutura geológica desfavorável à estabilidade.

O setor 5 não está presente no mapeamento de risco realizado pelo IG-SMA. Este setor apresenta o maior índice de perigo igual a 51,42 com grau de perigo alto para escorregamentos de rocha em taludes de corte. Os indicadores de perigo responsáveis por

essa classificação foram: amplitude e declividade altas dos taludes de corte, solo exposto, surgências do nível d'água, concentração alta de águas superficiais, rocha alterada com estrutura geológica desfavorável à estabilidade.

As Figuras 5.32 e 5.33 apresentam os resultados dos mapeamentos de risco realizado pelo IG-SMA e de perigo com a aplicação do AHP, respectivamente, para a Área de Itatinga.

Tabela 5.30 – Resultados do grau de risco no mapeamento do IG-SMA e da análise do perigo no mapeamento com a aplicação do AHP para a Área de Itatinga.

ÁREA 5 – ITATINGA			
Mapeamento de risco IG-SMA			
Setor	**Processo adverso**	**Grau de risco**	**nº de moradias ameaçadas**
A5_S1	**Escorregamento de solo**	**R2 - Médio**	**01**
A5_S2	**Escorregamento de solo**	**R2 - Médio**	**15**
A5_S3	**Escorregamento em solo e queda de blocos rochosos**	**R3 - Alto**	**30**
A5_S4	**Escorregamento de solo**	**R2 - Médio**	**18**

Mapeamento de perigo com aplicação do Método AHP							
Setor	**Encosta/ Talude**	**Processo**	**Feições de Instabilidade**	**Análise de Perigo**			**n° moradias ameaçadas**
				IP	**Grau**	**Grau Final**	
A5_S1	**Talude de corte**	**Esc. solo/rocha**	**não**	**46,12**	**P3-Alto**	**P3-Alto**	**1**
A5_S2	**natural**	**Esc. raso de solo**	**não**	**38,20**	**P3-Alto**	**P3-Alto**	**15**
A5_S2	**Talude de corte**	**Esc. solo/rocha**	**não**	**32,65**	**P2 - Médio**		
A5_S2	**Aterro**	**Escorregamento**	**não**	**28,09**	**P2- Médio**		
A5_S3	**Talude de corte**	**Esc. solo/rocha**	**não**	**45,37**	**P3-Alto**	**P3-Alto**	**30**
A5_S3	**Bloco Rochoso**	**Rolamento/ desplacamento**	**não**	**40,95**	**P3-Alto**		
A5_S4	**Talude de corte**	**Esc. solo/rocha**	**não**	**28,27**	**P2- Médio**	**P2- Médio**	**18**
A5_S5	**Encosta natural**	**Esc. raso de solo**	**não**	**48,48**	**P3-Alto**	**P3-Alto**	**12**
A5_S5	**Talude de corte**	**Esc. solo/rocha**	**não**	**51,42**	**P3-Alto**		

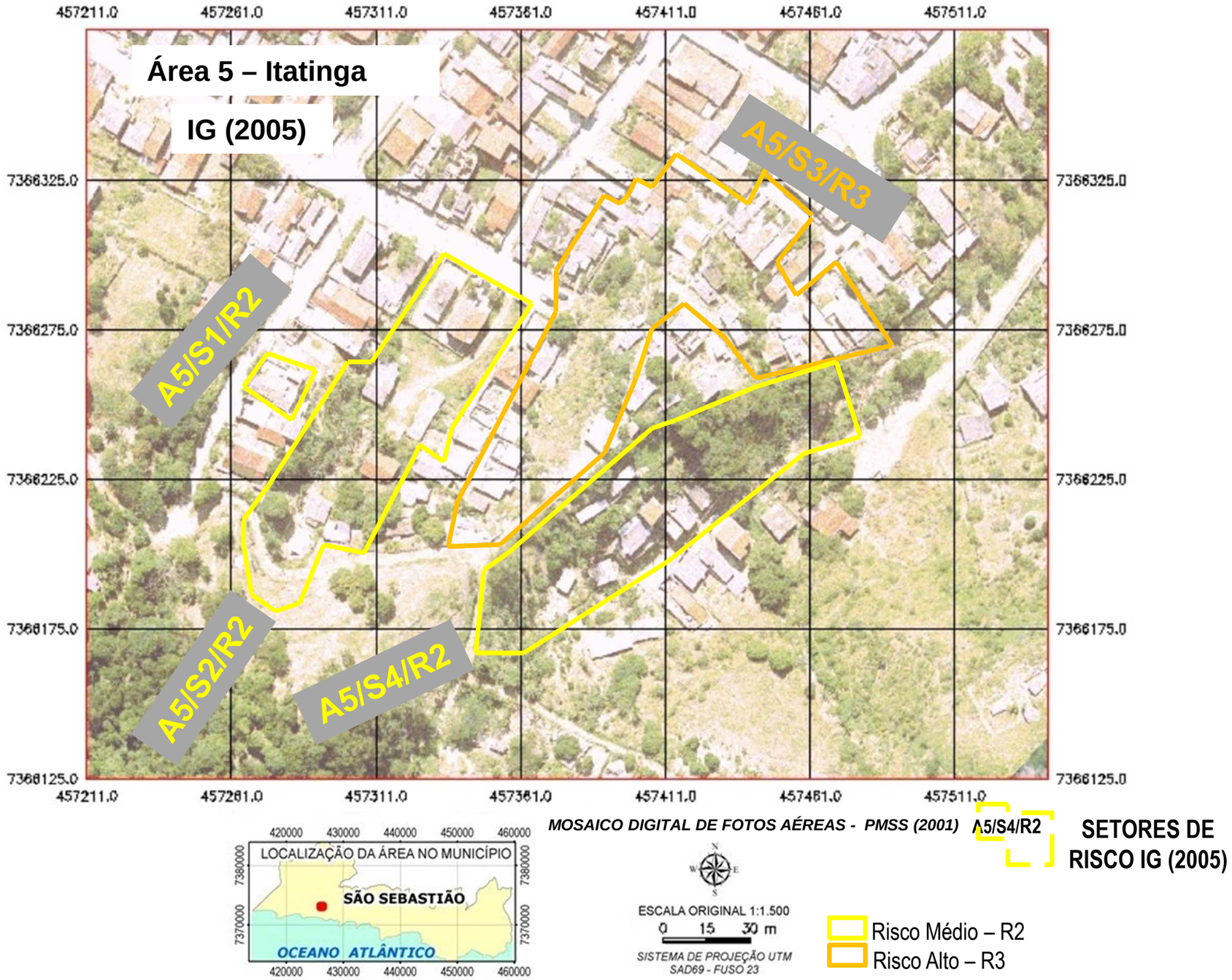

Figura 5.32 – Mapeamento de risco de escorregamentos realizado pelo IG-SMA na Área de Itatinga

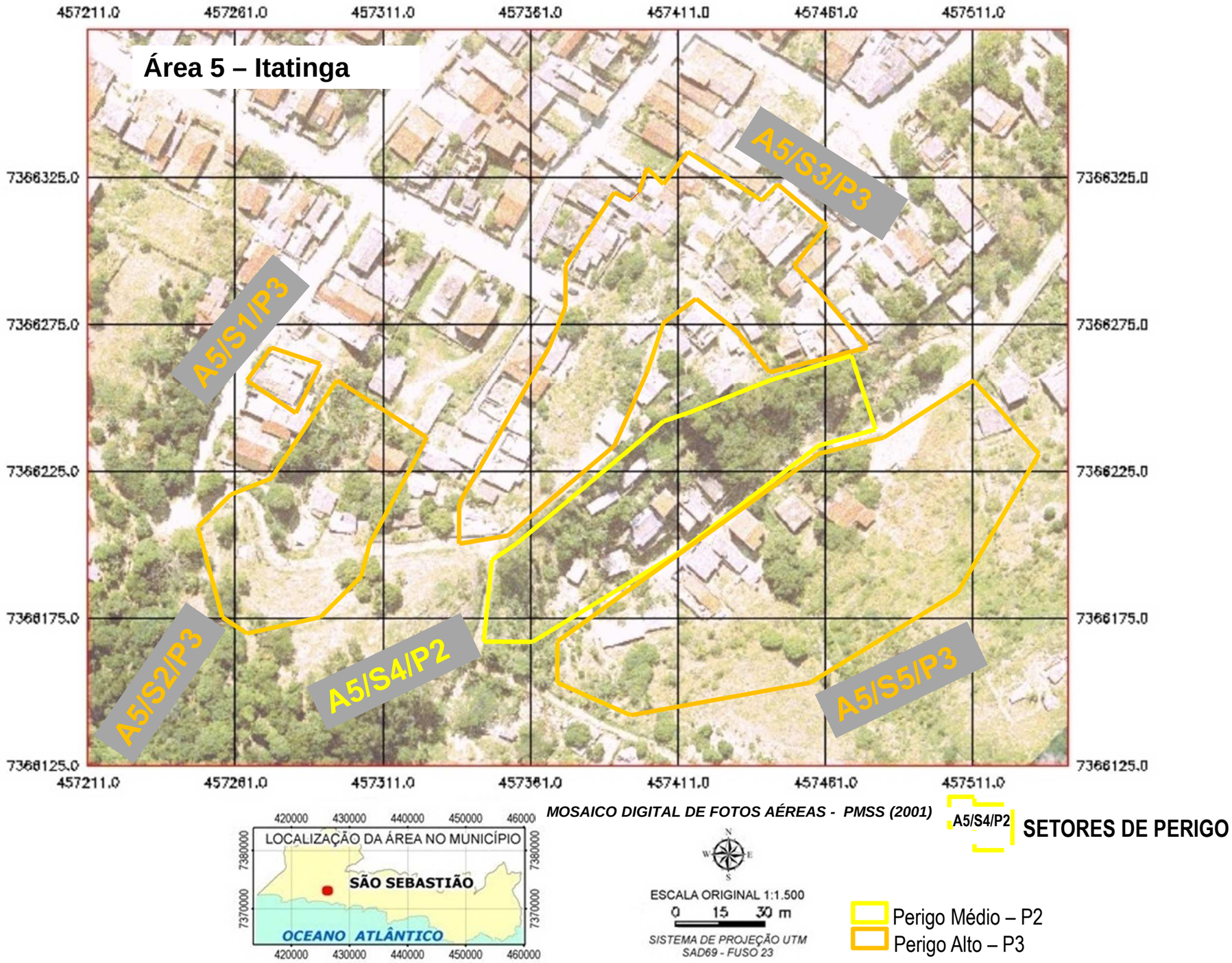

Figura 5.33 – Mapeamento de perigo de escorregamentos com a aplicação do Método AHP na Área de Itatinga

5.3.6. Área 6: Itatinga/Topolândia.

No mapeamento de risco realizado pelo IG-SMA, na área denominada de Itatinga/Topolândia foram delimitados 4 setores de risco (Figura 5.34), conforme mostra a Tabela 5.31.

No mapeamento de perigo com a aplicação do Método AHP, os 3 setores de perigo delimitados (Figura 5.35), foram:

- Setor 1 (corresponde ao setor 1 do mapeamento de risco) – apresenta maior valor do índice de perigo igual a 40, correspondendo ao grau de perigo alto para escorregamentos rasos de solo em encosta natural. Esse valor de IP está muito próximo do valor de 39,46 obtido para escorregamentos em taludes de corte. Os indicadores de perigo responsáveis por essa classificação de perigo são: amplitude e declividade excessivas, solo residual e rocha alterada com estrutura geológica desfavorável à estabilidade, ocupação situada em linha de drenagem (condição de umidade alta).

  A classificação do risco para o setor 1 no mapeamento realizado pelo IG-SMA também foi de risco alto;
- Setor 2 (correspondo ao setor 2 do mapeamento de risco) - é representado por uma moradia com histórico de vários escorregamentos. O maior valor do índice de perigo obtido por meio da matriz de decisão AHP foi igual a 55,92, correspondendo ao grau de perigo alto para escorregamento raso de solo em encosta natural. Esse valor de IP está muito próximo do valor de 54,32 obtido para escorregamentos em taludes de corte. Entretanto, a moradia deste setor apresenta feições de instabilidade como trincas no piso e cicatrizes de escorregamentos significativas, as quais conferem a classificação de perigo muito alto para o setor 2;
- Setor 3 (corresponde ao setor 4 do mapeamento de risco) – também apresenta maior valor do índice de perigo igual a 40, correspondendo ao grau de perigo alto para escorregamentos rasos de solo em encosta natural. Esse valor de IP, assim como no setor 1, também está muito próximo do valor de IP igual a 39,46 obtido para escorregamentos em taludes de corte. Os indicadores de perigo responsáveis por essa classificação de perigo são: amplitude e declividade excessivas, solo residual e rocha alterada com estrutura geológica desfavorável à estabilidade, ocupação situada em linha de drenagem (condição de umidade alta).

O setor 3 do mapeamento de risco realizado pelo IG-SMA não foi delimitado no mapeamento de perigo, pois foram realizadas obras de contenção nos taludes de corte situados à jusante da Rua Vereador Francisco Luciano Nogueira, minimizando, dessa forma, o perigo de escorregamento. Essa observação foi realizada durante os trabalhos de campo do ano de 2009.

Tabela 5.31 – Resultados do grau de risco no mapeamento do IG-SMA e da análise do perigo no mapeamento com a aplicação do AHP para a Área de Itatinga/Topolândia.

ÁREA 6 – ITATINGA/TOPOLÂNDIA			
Mapeamento de risco IG-SMA			
Setor	Processo adverso	Grau de risco	nº de moradias ameaçadas
A6_S1	Escorregamento de solo	R3 - Alto	60
A6_S2	Escorregamento de solo	R4 - Muito Alto	1
A6_S3	Escorregamento de solo	R2 - Médio	4
A6_S4	Escorregamento de solo	R2 - Médio	34

Mapeamento de perigo aplicando o Método AHP							
Setor	Encosta/ Talude	Processo	Feições de Instabilidade	Análise de Perigo			n°moradias ameaçadas
				IP	Grau	Grau Final	
A6_S1	Encosta natural	Esc. raso de solo	não	40	P3-Alto	Alto	60
A6_S1	Talude de corte	Esc. solo/rocha	não	39,46	P3-Alto		
A6_S1	Aterro	Escorregamento	não	28,09	P2-Médio		
A6_S2	Encosta natural	Esc. raso de solo	cicatrizes	54,32	P3-Alto	Muito Alto	1
A6_S2	Talude de corte	Esc. solo/rocha	cicatrizes	55,92	P3-Alto		
A6_S3	Encosta natural	Esc. raso de solo	não	40	P3-Alto	Alto	34
A6_S3	Talude de corte	Esc. solo/rocha	não	39,46	P3-Alto		
A6_S3	Aterro	Escorregamento	não	28,09	P2-Médio		

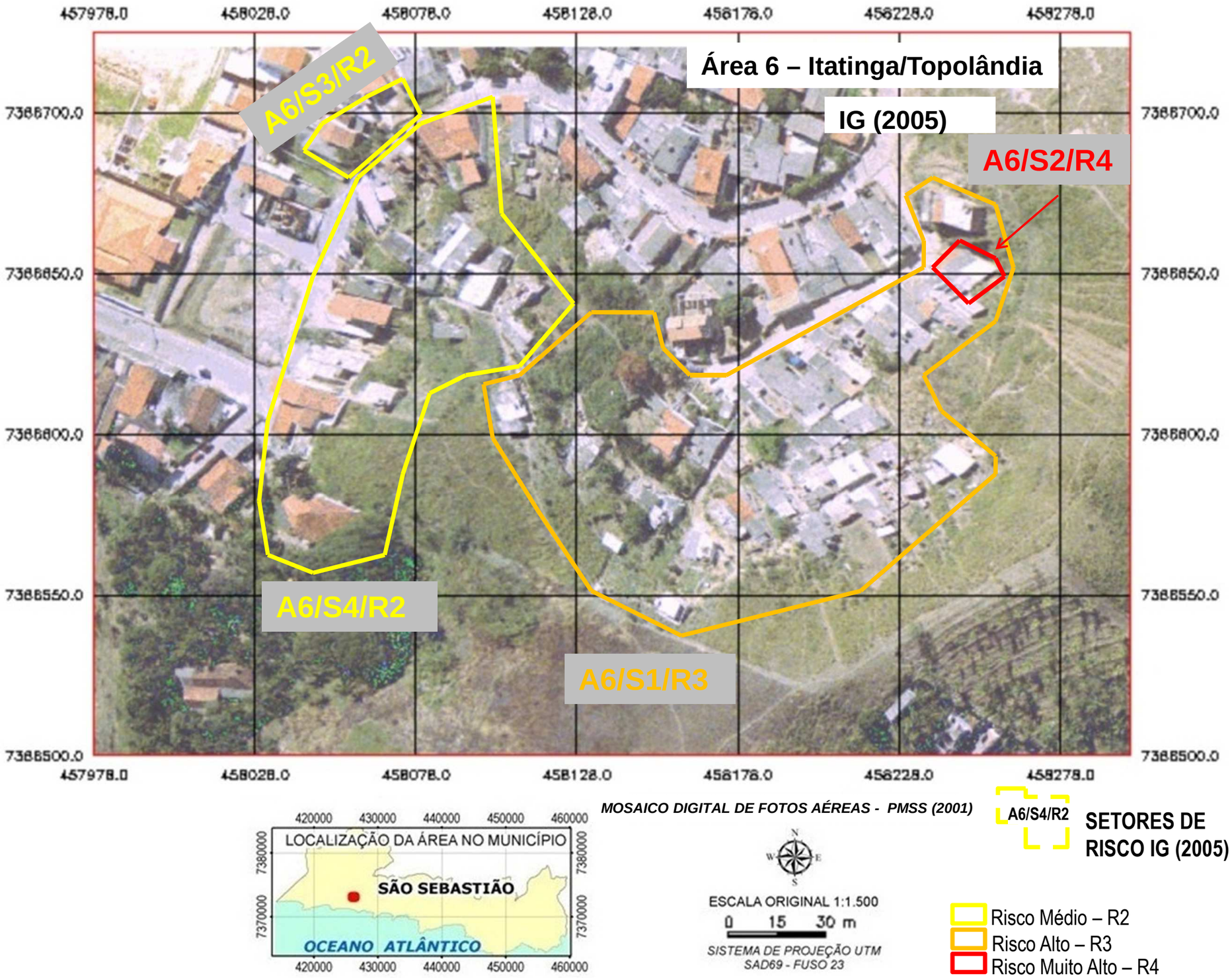

Figura 5.34 – Mapeamento de risco de escorregamentos realizado pelo IG-SMA na Área de Itatinga/Topolândia

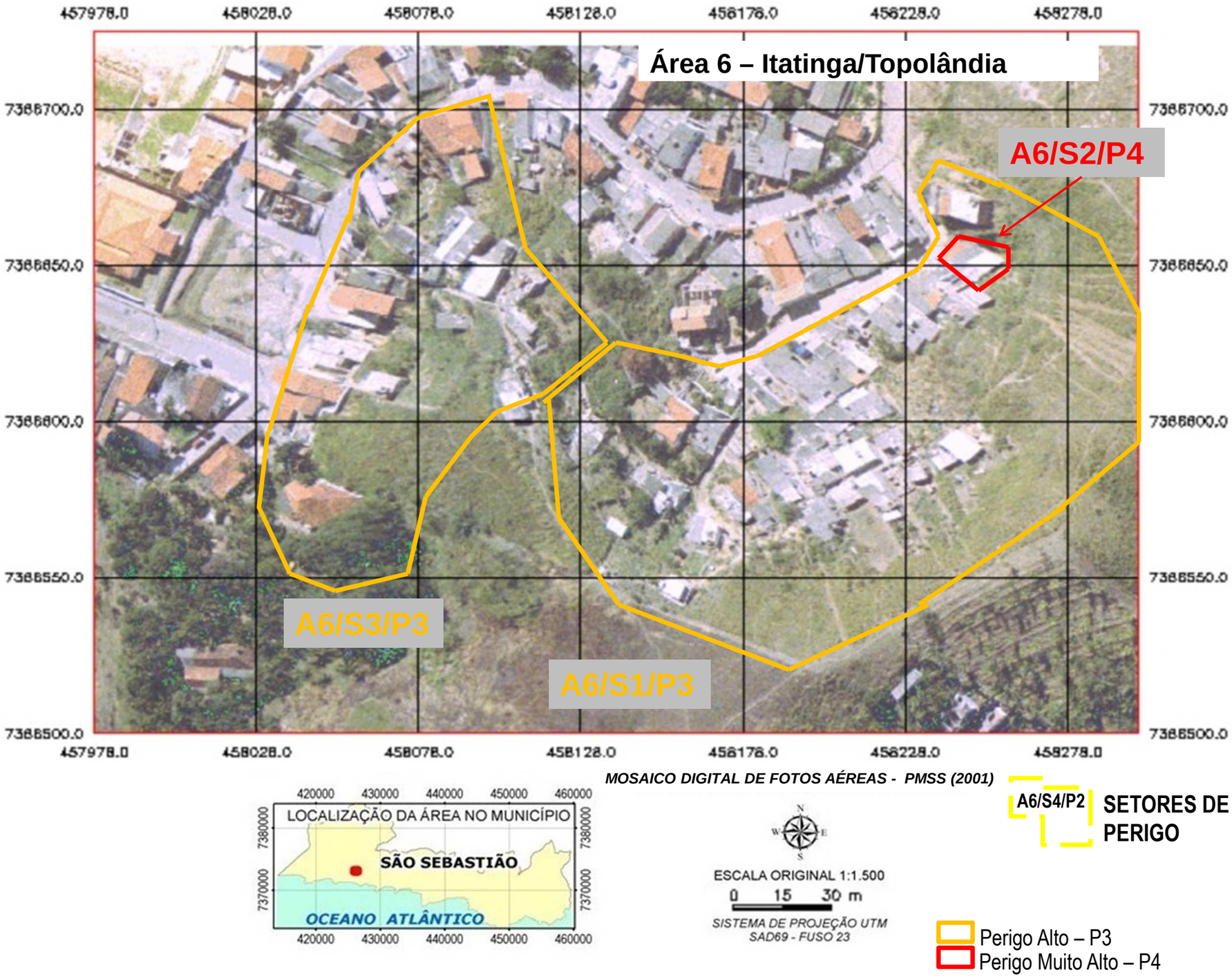

Figura 5.35 – Mapeamento de perigo de escorregamentos com a aplicação do Método AHP na Área de Itatinga/Topolândia

6. CONCLUSÕES

A presente pesquisa mostrou que é possível “diminuir o nível de subjetividade na análise dos indicadores e na hierarquização dos setores de perigo de escorregamentos, incorporando o Processo de Análise Hierárquica (AHP) no mapeamento de risco de escorregamentos em encostas urbanas precárias”, definido como hipótese do trabalho, visto que, a aplicação do método AHP conferiu à análise de perigo de escorregamentos uma racionalização, uma clareza e consequentemente transparência por meio da atribuição de pesos nos julgamentos paritários e da possibilidade de verificação da coerência destes julgamentos por meio da análise de sensibilidade.

A diminuição da subjetividade com a incorporação do método AHP nos procedimentos normalmente utilizados nos mapeamentos de risco de escorregamentos em encostas urbanas precárias contribui de forma a melhorar a confiabilidade do diagnóstico de risco para a implementação das ações de mitigação por parte do poder público.

O método AHP aplicado no aprimoramento da metodologia de mapeamento de risco adotada pelo Ministério das Cidades proporcionou a constatação de duas importantes características: a flexibilidade e a possibilidade de verificação da consistência dos julgamentos adotados na análise. Esta verificação da consistência dos dados, ou seja, a análise de sensibilidade promove aos técnicos envolvidos uma maior percepção do julgamento qualitativo dos processos de perigo, aumentando o nível de confiança na tomada de decisão, minimizando dessa forma, a subjetividade.

A flexibilidade está associada à facilidade com que se pode adaptar novas estruturações da matriz de decisão, dependendo dos processos e critérios de risco e perigo a serem analisados. Dessa forma, este método pode ser aplicado, de forma homogênea, em diferentes cenários de perigo. Além disso, uma vez estruturada a matriz AHP para determinado cenário de risco, ela poderá ser aplicada, da mesma forma, a cenários similares.

A estruturação da análise do perigo em planilhas utilizando o programa *Microsoft Excel* tornou o método mais prático, de fácil compreensão, promovendo uma visualização mais clara da contribuição dos processos associados a escorregamentos na análise do perigo.

Além disso, a aplicação do método AHP no mapeamento de perigo evidenciou a facilidade e praticidade em se verificar a contribuição (em forma de peso) dos indicadores de perigo na classificação do perigo nos setores mapeados.

Com base nos resultados, será possível definir de forma otimizada as ações necessárias para a gestão de risco. Esses resultados irão contribuir, de forma mais precisa, para a realização de medidas de prevenção ao perigo nas áreas com possibilidade de ocorrência de processos de escorregamentos.

Como limitações do Método AHP observou-se que: a) a limitação do número de critérios a serem comparados par a par, definidos como número máximo de 11 (SAATY, 1990); b) o trabalho em se atingir a razão de consistência igual ou inferior a 10% (análise de sensibilidade) é sensivelmente maior, quando se aumenta o número de critérios a serem comparados.

Os julgamentos paritários dos indicadores de perigo e suas respectivas classes, realizados pelos três especialistas com experiência em risco geológico-geotécnico não mostraram discrepâncias nos resultados da classificação do perigo. Quando ocorreu diferença nas análises, a classificação do perigo de escorregamentos ficou próxima, ou seja, verificou-se que ocorreu uma modificação sensível nos julgamentos, através de pequenas variações no grau de perigo baixo migrando para médio e no perigo médio, migrando para alto. Não foi observada a variação do perigo baixo migrando para alto. Lembrando que o método AHP não visa apresentar aos decisores solução única ao problema, elegendo uma verdade. Qualquer proposição consistente e coerente é válida, desde que reflita o julgamento do especialista responsável pela avaliação. Logo, uma análise consistente e coerente implica na realização da análise de sensibilidade, conforme proposto pelo método AHP.

Na comparação dos resultados do mapeamento de risco desenvolvido pelo IG-SMA (SMA, 2006) e do mapeamento do perigo com a aplicação do AHP, ocorreu certa dificuldade, devido a necessidade de se estabelecer critérios de setorização. Ressalta-se que na setorização, um dos principais procedimentos do mapeamento de risco adotado pelo Ministério das Cidades, não se aplica o Método AHP.

No mapeamento de perigo com a aplicação do AHP verificou-se:

- A sistematização e hierarquização dos condicionantes naturais e induzidos dos processos de escorregamentos, minimizando a subjetividade, tornando a análise de perigo mais objetiva e consistente;

- A adoção de critérios de modo a uniformizar a delimitação dos setores nas áreas mapeadas.

De modo geral, na comparação dos resultados por meio dos graus de risco e perigo, constatou-se, em algumas áreas, uma avaliação conservadora nos julgamentos durante a análise do perigo com a aplicação do método AHP.

Sugere-se como continuidade deste trabalho, a incorporação do Método AHP, incluindo as planilhas desenvolvidas no programa *Excel*, num ambiente SIG.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, L. M. de; GRANEMANN, S. R.; GARTNER, I.; BERNARDES, R. S. **Escolha de um programa de controle da qualidade da água para consumo humano: aplicação do método AHP**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 4, n. 2, 2000, pp. 257 - 262.

ALVES, D. A. **Metodologia Multicritério de Apoio à Decisão no Processo de Avaliação de um Sistema de Gerenciamento de Conteúdos**. Dissertação. Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2009, 146 p.

ALEOTTI, P., CHOWDHURY, R. **Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives**. Bulletin of Engineering Geology and Environment, 58, 1999, p. 21 - 44.

ANBALAGAN, R. & SINGH, B. **Landslides hazard and risk assessment mapping of mountainous terrains – a case study from Kumaun Himalaya, India**. Engineering Geology, 1996, 43: 237-246.

ANDERSON, L. R.; BOWLES, D. S.; PACK, R. T.; KEATON, J. R. **A risk-based method for landslide mitigation**. Landslides, Senneset (ed.), Balkema, Rotterdam, 1996, p. 135 – 140.

ANJOS, C.A.M. dos. **Elaboração e aplicação de um modelo para quantificação do risco geológico instalado associado a uma instabilização: o caso de uma encosta em Maceió (AL).** Tese de Doutorado em Geociências e Meio Ambiente. Universidade Estadual Paulista, IGCE/UNESP, Rio Claro, 1999, 205 p.

ASAHI, T.; TURO, D.; SHNEIDERMAN, B. **Visual decision-making: Using tree maps for the Analytic Hierarchy Process**. University of Maryland, Maryland. 1994. Disponível em:<http://sigchi.org/chi95/Electronic/documnts/videos/ta_bdy.htm>. Acesso em: 21 nov. 2008.

AUGUSTO FILHO, O.; CERRI, L. E. S.; AMENOMORI, C. J. **Riscos Geológicos: Aspectos Conceituais**. In: Simpósio Latino-Americano Sobre Risco Geológico Urbano, 1, São Paulo, 1990. *Anais*... São Paulo: ABGE, 1990, p. 334-341.

AUGUSTO FILHO, O. **Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica**. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 1, 1992, Rio de Janeiro. Anais.. Rio de Janeiro: ABMS/ABGE. 1992, p. 721-733.

AUGUSTO FILHO, O. **Carta de risco de escorregamentos quantificada em Ambiente de SIG como subsídio para planos de segura em áreas urbanas: um ensaio em Caraguatatuba (SP).** Tese de Doutorado em Geociências e Meio Ambiente. Universidade Estadual Paulista, UNESP, Rio Claro. 2001, 196 p.

AUGUSTO FILHO, O.,VIRGILI, J.C. **Estabilidade de taludes** In: Oliveira, A.M.S.; Brito, S.N.A. (Eds.). Geologia de Engenharia: ABGE. Cap.15,1998, p. 243 – 269.

AYALA, F.J. & PEÑA, M. **Los mapas de riesgos geologicos en la prevencion y gestion de desastres naturales en España.** In: ENCUENTRO INTERNACIONAL "CATASTROFES

Y SOCIEDAD", Madrid. *Ponencias yComunicaciones*... Madrid: Instituto Tecnológico de Seguridad, MAPFRE-ITSEMAP,1989. p.387-412.

BANA E COSTA, C. A. **Structuration, Construction et Exploitation dún Modèle Multicritère d'Aide à la Decision.**Thèse de doctorat pour l'obtention du titre de Docteur en Ingénierie de Systèmes. Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior Técnico, 2002.

BANA E COSTA, C.; VANSNICK.J. C. MACBETH - **An Interactive Path Towards the Construction of Cardinal Value Functions.***International Transactions in Operational Research*, 1994, vol. 1, n. 4, p. 489-500.

BARBAROSOGLU, G.and PINHAS, D. **Capital rationing in the public sector using the analytic hierarchy process.**1995. Disponível em: <http://bw-www.ie.uryukyu.ac.jp/~j94033/study/finalpeper2.html>. Acesso em: 07 abr.2008.

BARREDO, J., BENAVIDES, A., HERVAS, J., VAN WESTEN, C.J..**Comparing heuristic landslide hazard assessment techniques using GIS in the Tirajana basin, Gran Canaria Island, Spain**. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 2, 2000, p. 9 – 23.

BESIO, M.; RAMELLA, A.; BOBBE, A.; COLOMBO, A.; OLIVIERI, C.; PERSANO, M. **Risk maps: theoretical concepts and techniques**. Journal of Hazardous Materials, 1998, 61: 299-304.

BORITZ, J. E. Pairwise Comparison - **The Analytic Hierarchy Process. University of Waterloo, Waterloo**.1992. Disponível em: <http://www.jebcl.com/riskdo/riskdo3.htm>. Acesso em: 20 nov. 2008.

BRABB, E.E. **Innovative approach to landslide hazard and risk mapping**. In: *Proceedings of the 4th International Symposium on Landslides*, Toronto, 1984, vol. 1, p. 307-324.

BRANDÃO DA SILVA, L. J. R. O.; MENDONÇA, J. A. F. de. **Plano Municipal de Redução de Risco da cidade do Rio de Janeiro: uma abordagem através do IQR – Índice Quantitativo de Risco**. In:Seminário Nacional de Controle de Riscos em Assentamentos Precários nas Encostas Urbanas, 2, Ministério das Cidades e Cities Alliance, Belo Horizonte, MG. 2006. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br//index.php?option=content&task=category&id=668>. Acesso em: 15 dez. 2008.

BRANDÃO DA SILVA, L. J. R. O.; MENDONÇA, J. A. F. de. **IQR – Índice Quantitativo de Risco – uma nova metodologia de cartografia aplicada à cidade do Rio de Janeiro**. In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 6, Uberlândia, MG. 2007, p 596-601.

BRASIL. **Treinamento de técnicos municipais para o mapeamento e gerenciamento de áreas urbanas com risco de escorregamentos, enchentes e inundações**. Ministério das Cidades/Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT).Apostila de treinamento, 2004, 73p. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br.> Acesso em: 10 abr. 2008.

BRASIL. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margens de Rios**.CARVALHO, C. S.; MACEDO, E. S.; OGURA, A. T. (orgs) Brasilia: Ministerio das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnologicas – IPT, 2007, 176 p.

CANIL, K.; MACEDO, E.S.; GRAMANI, M.F.; ALMEIDA FILHO, G.S.; YOSHIKAWA, N.K.; MIRANDOLA, F.A; VIEIRA, B.C.; BAIDA, L.M.A.; AUGUSTO FILHO, O; SHINOHARA, E.J. **Mapeamento de risco em assentamentos precários nas zonas sul e parte da oeste no município de São Paulo (SP).** In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 5, São Carlos. *Anais*... São Paulo: ABGE, 2004, p.193-204.

CARRARA, A., CARDINALI, M. and GUZZETTI,F. **Uncertainty in assessing landslide hazard and risk**. ITC Journal, The Netherlands, 1992, Vol. 2, p. 172-183.

CARRARA, A., CARDINALI, M., GUZZETTI, F., and REICHENBACH, P.: **GIS technology in mapping landslide hazard**. In: Carrara, A. and Guzzetti, F. (eds.), Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, The Netherlands, 1995, p. 135–175.

CARVALHO, C. S. **Gerenciamento de Riscos Geotécnicos em encostas urbanas: uma proposta baseada na análise de decisão**. Tese de Doutorado em Engenharia. 1996. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, 1996, 192 p.

CARVALHO, C.S. **Análise quantitativa de riscos e seleção de alternativa de intervenção: exemplo de um programa municipal de controle de riscos geotécnicos em favelas**. In: WORKSHOP SOBRE SEGUROS NA ENGENHARIA, 1, 2000, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), 2000, p. 49-56.

CARVALHO, C. S. e GALVÃO, T. **Ação de Apoio à Prevenção e Erradicação de Riscos em Assentamentos Precários.** In: BRASIL. CARVALHO, C. S. e GALVÃO, T. (orgs.). Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para Elaboração de Políticas Municipais. Brasília: Ministério das Cidades; Cities Alliance, 2006, p. 10-17.

CASTELLANOS ABELLA, E. **Design of a GIS-Based System for Landslide Hazard Management, San Antonio del Sur, Cuba, case study**. M.Sc. Thesis, International Institute for Aeroespace Survey and Earth Sciences (ITC), Enschede, 2000, 108 p.<http://sites.google.com/site/castellanosresearch/phdthesis>. Acesso em:10 mar 2010.

CASTELLANOS ABELLA, E.A. **Multi-scale landslide risk assessment in Cuba**.Utrecht, Utrecht University, 2008. ITC Disertation , 2008, 154, 273 p. ISBN: 978-90-6164-268-8. <http://sites.google.com/site/eacastellanos/publicacione>. Acesso em: 10 mar 2010.

CASTELLANOS ABELLA, E. and VAN WESTEN, C.J. **Geomorphology and Geology of San Antonio del Sur, Guantánamo, Cuba: its Contribution in Producing Landslides**. In: C.N.d.I.G. (CNIG) (Editor), IV Congreso de Geología y Minería, Memorias, Trabajos y Resúmenes. Sociedad Cubana de Geología (SCG), La Habana, Cuba, 2001, p. 10. <http://sites.google.com/site/eacastellanos/publicacione>. Acesso em:10 mar2010.

CASTELLANOS ABELLA, E. A. C. & VAN WESTEN, C. J. **Qualitative landslide susceptibility assessment by multicriteria analysis: A case study from San Antonio del Sur, Guantánamo, Cuba**. Geomorphology, 94, 2008, p 453-466.

CENDRERO, A. *et al.* **Metodologia de elaboracion de mapas de riesgos a escala 1:5.000**. In: GEOLOGIA AMBIENTAL Y ORDENACIÓN DEL TERRITÓRIO, 1987. Santander.*Comunicaciones*... Santander, v.2, 1987, p.843-870.

CERRI, L.E.S. **Riscos geológicos associados a escorregamentos: uma proposta para a prevenção de acidentes.** Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.1993, 197 p.

CERRI, L. E. S.; CARVALHO, C. S.. **Hierarquização de situações de risco em favelas no município de São Paulo, Brasil – Critérios e Metodologia**. In:Simpósio Latino-americano sobre Risco Geológico Urbano, 1. São Paulo, 1990, p 150-157.

CERRI, L. E. S. **Mapeamento de Riscos nos Municípios**. In: BRASIL. CARVALHO, C. S. e GALVÃO, T. (orgs.). *Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para Elaboração de Políticas Municipais*. Brasília: Ministério das Cidades; Cities Alliance, 2006, p. 46-55.

CERRI, L. E. S., AMARAL, C. P. **Riscos Geológicos**.In: *Geologia de Engenharia*. 1.ed. São Paulo: ABGE, 1998. Cap.18, p. 303-310.

CERRI, L.E.S.; ZAINE, J.E.; SILVA, V.C.R.; SILVA, L.C.R.; NÉRI, A.C.; BARBOSA, T.T.A.; PAULA, J.P.L. de, SCARANCE, M.R.A.P.; SILVA, D.M.B. **Mapeamento de risco em áreas de ocupação precária nas zonas norte, leste e oeste do município de São Paulo (SP)**. In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 5, 2004, São Carlos. Anais... São Carlos: ABGE, 2004, p.115-122.

CERRI, L. E. S.; PAULA, J.P.L.; BARBOSA, T. T. A. **Mapeamento de risco em áreas de ocupação precária na zona norte, leste e oeste do município de São Paulo**. In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 2004, São Carlos. Suprema Gráfica Ed. 2004, p. 115-122.

CERRI, L. E. S.;NOGUEIRA, F. R.; CARVALHO, C. S.; MACEDO E. S.; AUGUSTO FILHO, O. **Mapeamento de Risco em assentamentos precários no município de São Paulo (SP)**. São Paulo, UNESP, Geociências, 2007, v. 26, n. 2, p. 143-150.

CHOIRAT, C.; SERI, R. **Analytic Hierarchy Process, a Psychometric Approach**.Dipartimento di Economia di Università dell'Insubria, Itália. 2001. Disponível em: <http://eco.uninsubria.it/dipeco/paper_Choirat.pdf.pdf>. Acesso em: 07 abr. 2008.

CRUDEN, D.M. **Suggested nomenclature for landslides**.Bulletin of the International Association of Engineering Geology, 1990, n° 41, p.13-16.

CRUZ, O. A **Serra do Mar e o litoral na área de Caraguatatuba: contribuição à geomorfologia litorânea**. São Paulo. (Série teses e monografias, n° 11). Tese (Doutorado em Geografia) - Instituto de Geografia - Universidade de São Paulo, 1974. 181p.

DAI, F. C.; LEE, C. F.; NGAY, Y.Y. **Landslides Risk Assesment and Management: an overview.**Engineering Geology 64 (2002) 65–87.

DEERE, D. U.; PATTON, F. D. **Slope Stability in residual soils**.State of the art paper. In: Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 4, San Juan, Proceedings...New York: Asce, 1971, v 1, p. 87-170.

DELGADO, J.; PELÁEZ**,** J.A.;TOMÁS, R.; ESTÉVEZ, A.; LÓPEZ-CASADO, C.; DOMÉNECH, C.; CUENCA, A.. **Evaluación de la susceptibilidad de lãs laderas a surfir inestabilidades inducidas por terremotos**. Aplicatión a la cuenca de drenaje del rio Serpis

(Provincia de Alicante). Revista de la Sociedad Geológica de España, 2006, 19(3-4),p. 197-218.

DODGSON, J.; SPACKMAN, M.; PEARMAN, A.; PHILLIPS, L. DTLR multi-criteria analysis manual. DTLR – Department for Transport, Local Government and the Regions, Reino Unido.2001. Disponível em: <http://www.odpm.gov.uk/stellent/groups/odpm_about/documents/pdf/odpm_about_pdf_08524.pdf>.Acesso em: 10 nov 2008.

EINSTEIN, H. H. **Landslides risk assessment procedure**. In: International Symposium on Landslides, 4, Lausanne. Proceedings.Lausanne, Switzerland, A.A.Balkema, Rotterdam, Netherlands.1988, vol.2, p. 1075-1090.

EINSTEIN, H.H. **Landslide risk – systematic approaches to assessment and management**.In: CRUDEN & FELL (ed.), *Landslide risk assessment*. Proceedings of the International Workshop on Landslide Risk Assessment.A.A. Balkema.1997. p.25-49.

ENSSLIN, L.; MONTIBELLER NETO, G.; NORONHA, S. M. D. **Apoio à decisão**. Editora Insular, Florianópolis (SC), 2001, 295 p.

FARIA, D. G. M.; FERREIRA, C. J.; ROSSINI-PENTEADO, D.; FERNANDES DA-SILVA, P.C.; CRIPPS J.C. **Mapeamento de áreas de risco a escorregamentos e inundações em áreas habitacionais de Diadema (SP)**. In: Congresso Brasileiro Geologia de Engenharia e Ambiental, 11, Florianópolis (SC), 2005. Anais (ISBN 85-7270-017-X)... ABGE, CD-ROM: 2005. p. 892-907.

FELL, R.; COROMINAS, J.; BONNARD, C.; CASCINI, L.; LEROI. E. and SAVAGE, W. Z. **Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning**. Engineering Geology,2008, n° 102, p. 85–98.

FERNANDES, N. F.; COELHO NETTO, A. L.; LACERDA, W. A. **Subsurface Hydrology of Layered Colluvium Mantles in Unchannelled Valleys - Southeastern Brazil**. Earth Surface Processes and Landforms, 1994, vol 19, p. 609-626.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. **Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica**. In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. (org) Geomorfologia e Meio Ambiente. Bertrand, Rio de Janeiro., 1996, p. 123-194.

FERNANDES, N.F.; GUIMARÃES, R.F.; GOMES, R.A.T.; VIEIRA, B.C.; MONTGOMERY, D.R.; GREENBERG, H. **Condicionantes geomorfológicos dos deslizamentos nas encostas: avaliação de metodologias e aplicação de modelo de previsão de áreas susceptíveis**. In: Revista Brasileira de Geomorfologia, vol.2, n.1. União da Geomorfologia Brasileira, 2001, pp. 51-71.

FINNIE, G.R.; WITTIG, G.E. **An Intelligent Web Tool for Collection of Comparative Survey Data**.School of Information Technology Bond University, Austrália.1999. Disponível em: <http://www.it.bond.edu.au/publications/99TR/99-10.PDF>. Acesso em: 21 nov. 2008.

FUNDUNESP_ Fundação para o Desenvolvimento da UNESP. **Mapeamento de risco associado a áreas de encosta e margens de córregos nas favelas do município de São Paulo**. Relatório Final. UNESP/IGCE/DGA, Rio Claro. 2003. 78p.

GARCIA, R.; ZÊZERE, J.L.**Avaliação de Riscos Geomorfológicos: Conceitos, Terminologia e Métodos de Análise**. III Seminário Recursos Geológicos, Ambiente e Ordenamento do Território, Livro de Actas, Vila Real, 2003, p.299-308.

GLADE, T.; CROZIER, M.J.**A review of scale dependency in landslide hazard and risk analysis**. In: Landslide hazard and risk (T. Glade, M. Anderson, J.M. Crozier, Eds.). John Willey & Sons, Chichester, 2005, p. 75-138.

GOMES, L. F. A. M. **Teaching Decision Making Analytical Skills to Engineers: A New Paradigm**. International Conference on Engineering Education, Rio de Janeiro. 1998. Disponível em: <http://www.ctc.puc-rio.br/icee-98/Icee/papers/365.pdf>. Acesso em: 10 nov 2008.

GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S., ALMEIDA A. T. de. **Tomada de Decisão Gerencial: Enfoque Multicritério**. São Paulo: Editora Atlas, 2002,389p.

GORSEVSKI, P.V., GESSLER, P.E., JANKOWSKI, P. **Integrating a fuzzy k-means classification and a Bayesian approach for spatial prediction of landslide hazard**.Journal of Geographical Systems, 2003, Volume 5, Issue 3, p. 223-251.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. 652 p.

GUIDICINI, G., NIEBLE, C.M..**Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. São Paulo: Edgard Blücher, 2ª ed. 1984, 196p.

GUGLIELMETTI, F. R.; MARINS, F. A. S.; SALOMON, V. A. P. **Comparação teórica entre métodos de auxílio à tomada de decisão por múltiplos critérios**. XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Ouro Preto (MG). 2003. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2003_TR0602_0237.pdf>. Acesso em: 10 abr de 2010.

GUZZETTI, F.: **Landslide Hazard and Risk Assessment.** Ph.D. Thesis, Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakult¨at der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universit¨at University of Bonn, Bonn, 2005, 389 p.

GUZZETTI, F., CARRARA, A., CARDINALI, M. and REICHENBACH, P. **Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study**,**Central Italy**. Geomorphology, 1999, 31(1-4), p. 181-216.

HACHICH, W. Análise probabilística de estabilidade. In: **Encontro Técnico sobre Estabilidade de Encostas**, São Paulo, SP: ABMS/GEOBRAS/GEOSONDA, 1988. p 49-73.

HANSEN, A. **Landslide hazard analysis**. In: Slope instability, edited by: Brunsden, D. and Prior, D. B., Wiley and Sons, New York USA, 1984, p. 523–602.

HERMELIN, M..**News trends in prevention of geological hazards**. In: International Geological Congress, 31, Rio de Janeiro, 2000. Resumo de palestra.

HOEK E. and BRAY, J. **Rock Slope Engineering**.The Institution of Mining and Metallurgy, London, 1977, 402 p.

HUTCHINSON, J.N.**General report: Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrology**. *Proceedings 5th International Symposium on Landslides*, Lausanne, 1988, vol 1: 3-35.

HUTCHINSON, J. N.: **Keynote paper: landslide hazard assessment**. In: Landslides, (Ed.) Bell, Balkema, Rotterdam, 1995, p.1805–1841.

HWANG, C. L.; YOON, K.**Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications**. Springer-Verlag, Berlin (Alemanha), 1981.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - **Mapa Geológico do Estado de São Paulo (escala 1:500.000).** São Paulo, 2v. Monografias, IPT/DMGA, 1981.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de ocupação de encostas**. São Paulo. (Publicação, 1 831). 1991.216 p.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Carta Geotécnica do Estado de São Paulo. Escala 1:500.000**. São Paulo. (Publicação, 2089). Vol I e II.1994, 22 p. e mapas.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos da Unidade de Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Litoral Norte - Relatório Final**. São Paulo: IPT (Relatório n° 46.172), 2000.

IUGS.Working Group on Landslides - Committee on Risk Assessment.**Quantitative risk assessment for slopes and landslides — the state of the art**. In: Cruden, D., Fell, R. (Eds.), Landslide Risk Assessment. Balkema, Rotterdam,1997, p. 3–12.

JANSEN, L. K. C.; SHIMIZO, T.; JANSEN, J. U. Uma análise de investimentos considerando fatores intangíveis. XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Florianópolis (SC). 2004. Disponível em: <http://www.producaoonline.inf.br/artigos/PDF/Enegep0304_0389.pdf>.Acesso em: 20 nov 2008.

JIANYUAN, Y. **Using Analytic Hierarchy Process as the auxiliary decision of computer integrated system for library management (CISLM).**China: NankaiUniversity, 1992. Disponível em: <http://web.simmons.edu/~chen/nit/NIT'92/387-yan.htm>. Acesso em: 15 abr 2008.

KEENEY, R. L. & RAIFFA, H. **Decisions with Multipleobjetives: Preferences and Value Tradeoffs**. New York, USA: Ed. John Wiley & Sons, 1976.

KIM, S. C. **Statistical Issues in Combining Expert Opinions for Analytic Hierarchy Process**.Soongsil University, Coréia. 1999. Disponível em:<http://www.stat.fi/isi99/proceedings/arkisto/varasto/kim_0217.pdf>. Acesso em: 15 abr2008.

KURKDJIAN, M.L.N.O.; VALÉRIO FILHO, M.; VENESIANI, P.; PEREIRA, M.N.; FLORENZANO, T.G.; DOS ANJOS, C.E.;OHARA, T.; DONZELI, P.L.; ABDON, M.M.; SAUSEN, T.M.; PINTO, S.A.F.; BERTOLDO, M.A.; BLANCO, J.G.; CZORDAS,S.M.

Macrozoneamento da Região do Vale do Paraíba e Litoral Norte do Estado de São Paulo.São José dos Campos: INPE, 1992, 176 p. (INPE-5381- PRP/165).

LANGER, M.. **La géologie de l'ingenieur and jourd'lui exigences er realités**. Bulletin of International Association od Engineering Geology, 1990, n.42, p.123-126.

LEROI, E. **Landslide hazard-risk maps at different scales: Objectives, tools and developments**. In: Senneset (ed.) *Landslides*, A.A. Balkema Publisher, Rotterdam, 1996, p 35-51.

LIANG, G.S.; WANG, M. J.A **Fuzzy Multi-criteria Decision Method for Facility Selection**.International Journal of Production Research, 1991, vol. 29, n° 11, p. 2313-1330.

LOOTSMA, F.A. **Scale sensitivity in the multiplicative AHP and SMART.**Journal of Multi-criteria Decision Analysis, 1993, vol .2, p. 87-110.

MACEDO, E. S. **Elaboração de cadastro de risco iminente relacionado a escorregamentos: avaliação considerando experiência profissional, formação acadêmica e subjetividade**. Tese de Doutorado em Geociências e Meio Ambiente. Universidade Estadual Paulista, UNESP, Rio Claro.2001. 276 p.

MACEDO, E.S.; CANIL, K.; GRAMANI, M.F.; ALMEIDA FILHO, G.S.; YOSHIKAWA, N.K.; MIRANDOLA, F.A; VIEIRA, B.C.; BAIDA, L.M.A.; AUGUSTO FILHO, O; SHINOHARA, E.J. 2004.**Mapeamento de áreas de risco de escorregamentos e solapamento de margens no município de São Paulo - SP: o exemplo da Favela Serra Pelada, Subprefeitura Butantã**. In: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, 1, Florianópolis. Anais...Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004, p. 59-72, CD-ROM.

MACEDO, E.S.; OGURA, A.T.; CANIL, K.; ALMEIDA FILHO, G.S; GRAMANI, M.F.; SILVA, F.C.; CORSI, A.C.; MIRANDOLA, F.A.**Modelos de fichas descritivas para áreas de risco de escorregamento, inundação e erosão**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 1, Florianópolis. Anais... Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004, p. 892-907, CD-ROM.

MATTOS, E. F. O.; CERQUEIRA NETO, J. X.; SILVA, F. R.; GOMES, R. L.; OLIVEIRA, S.M.**Critérios de hierarquização de intervenções em áreas de risco definidas pelo Plano Diretor de Encostas do Município de Salvador**. In: Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, 4, Salvador (BA), 2005. p. 3-15.Anais... ABMS, CD-ROM.

MAZZOCATO, M. E. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento aplicados ao Zoneamento urbano da bacia do rio Una: Município de São Sebastião,SP**.Dissertação - Instituto de Pesquisa Espaciais, São José dos Campos, 1998, 197p.

MIRANDA, M. T. **O Plano Diretor de Encostas de Salvador.- Secretaria Municipal de Transporte e Infra-estrutura de Salvador/BA.** In: Seminário Nacional de Controle de Riscos em Assentamentos Precários nas Encostas Urbanas, 2, Ministério das Cidades e Cities Alliance, Belo Horizonte, MG. 2006. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br//index.php?option=content&task=category&id=668>. Acesso em: 20 mar 2008.

MONTEIRO, C. A de F. **A dinâmica climática e as chuvas no Estado de São Paulo: estudo geográfico sob a forma de Atlas**. São Paulo, Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo. 1973. 129 p.

MONTGOMERY, D.R., DIETRICH, W.E..**A physically based model for the topographic control of shallow landsliding.**Water Resources Research 30 Ž4., 1994, 1153–1171.

MORITA, H. Revisão **do Método de Análise Hierárquica – MAH (AHP – Analytic Hierarchy Process)**. POLI-USP, São Paulo. 1998.

NOGUEIRA, F.R. **Políticas públicas municipais para gerenciamento deriscos ambientais associados a escorregamentos em áreas de ocupação subnormal**. Tese de Doutorado em Geociências e Meio Ambiente. Universidade Estadual Paulista – UNESP. Rio Claro. 2002, 256p.

NOGUEIRA, F. R. **Gestão dos Riscos nos Municípios**. In: BRASIL. CARVALHO, C. S. e GALVÃO, T. (orgs.). *Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para Elaboração de Políticas Municipais*. Brasília: Ministério das Cidades; Cities Alliance, 2006, p. 26-45.

OGURA, A. T. **Análise de riscos geológicos em planos preventivos de defesa civil**. In: BITAR (coord.) *Curso de geologia aplicada ao meio ambiente*.São Paulo. (ABGE). 1995, p. 203-215.

OKIDA, R. **Técnicas de sensoriamento remoto como subsídio ao zoneamento de áreas sujeitas a movimentos gravitacionais de massa e a inundações**. São José dos Campos. (INPE-6343-TDI/595). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1996. 147 p.<http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/iris%401912/2005/07.19.21.13/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 10 mar 2010.

OLIVEIRA A.M.S.; FORNASARI FILHO, N.; AUGUSTO FILHO, O.; PRANDINI, F. L.**Geologia de Engenharia e Meio Ambiente.** In: Simpósio de Geologia do Sudeste, 2, São Paulo. Atas ... São Paulo: SBG, 1991, p.293-296.

ONU - **Living with Risk.A global review of disaster reduction initiatives**.Inter-Agency Secretariat International Strategy for Disaster Reduction (ISDR), Genebra, Suiça, <www.unisdr.org>, 2004.152p.

PAMPLONA, E. de O. Avaliação qualitativa de cost drivers pelo método AHP. Escola Federal de Engenharia de Itajubá, Itajubá. 1999. Disponível em: <http://www.iem.efei.br/edson/download/Artavalahp.pdf> .Acesso em: 08 nov. de 2009.

PEREIRA, P. R. B.; NUNES, L. H. A Distribuição das Chuvas e os Problemas Ambientais noMunicípio de São Sebastião, Estado de São Paulo, Brasil. In: ENCUENTRO DE GEÓGRAFOS DA AMÉRICA LATINA, 6, Buenos Aires. **Anais... 1997.** 9 p.

PRESSINOTTI, M.M.N.; FERNANDES DA SILVA, P.C.; MARCHIORI-FARIA, D.G.; MENDES, R.M. **Ações do IG/SMA em mapeamento de áreas de risco em ambientes urbanos.** Simpósio de Geologia do Sudeste, 11, São Pedro-SP.Resumo. 2009.

REMONDO, J.; BONACHEA, J.; CENDRERO, A. **Quantitative landslide risk assessment and mapping on the basis of recent occurrences** .Geomorphology, vol. 29 (3-4), 2008, p. 496-507.

RIEDEL, P. S.; RODRIGUES, J. E.; MATTOS, J. T. de; MAGALHÃES, F. S. **A influência das estruturas geológicas em instabilidades de taludes em saprolitos – uma abordagem regional**. Solos e Rochas, 18 (3), 1995, p. 139-147.

RODRIGUES-CARVALHO, J.A. **Perigos geológicos, cartografia geotécnica e proteção civil**. In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 3, Florianópolis. ABGE, *CDROM*,1998.

RODRÍGUEZ, A. C. M. **Mapeamento multitemporal do uso e cobertura do solo do município de São Sebastião-SP, utilizando técnicas de segmentação e classificação de imagens TM-Landsat e HRV-SPOT**.Publicação Didática (Especialização emSensoriamento Remoto) – INPE, São José dos Campos, 2000. 94 p.

RODRÍGUEZ, A. C. M. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados na análise da legislação ambiental no município de São Sebastião (SP)**. Dissertação de mestrado. Faculdade de Filososfia, Letras e Ciências Humanas, USP. São Paulo, 2005, 201 p. <www.teses.usp.br> Acesso em: 04 dez. 2008.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo (escala 1:500.000).** Laboratório de Geomorfologia do Depto de Geografia da FFLCH – USP/Laboratório de Cartografia Geotécnica – Geologia Aplicada – IPT/FAPESP, 1997.

RUIZ, M.D.; GUIDICINI, G. **Introdução**. In: Oliveira e Brito (ed). Geologia de Engenharia. São Paulo. 1998. p. 1-5.

SAATY, T.L. **The Analytic Hierarchy Process**.McGraw Hill, New York. 1980.

SAATY, T.L. **How to make a decision: The analytic hierarchy process**. European Journal of Operational Research, Amsterdam, 1990, v.48, p.9-26.

SAATY, T. L. **Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process**, RWS Publications, Pittsburgh/PA (EUA), 1996.

SALOMON, V. A. P. ; MONTEVECHI, J. A. B. ; PAMPLONA, E. O. . **Justificativas para aplicação do método de análise hierárquica**. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 19., 1999, Rio de Janeiro. Anais. Porto Alegre : ABEPRO, 1999

SANTORO, J.; ROSSINI-PENTEADO, D.; VEDOVELLO. **Hierarquização das situações de riscos associados a escorregamentos e inundações no município de Rio Grande da Serra, SP: subsídios para o planejamento de ações preventivas e emergenciais**. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 11, Florianópolis – SC, 2005. Anais (ISBN 85-7270-017-X). ABGE, 2005, p. 866-878. CD-ROM.

SÃO PAULO – Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE. **Sistema de informações para gerenciamento de recursos hídricos do Estado de São Paulo, Plano Estadual de Recursos Hídricos 2000- 2003**. CD-ROM.

SÃO PAULO, SECRETARIA MUNICIPAL DAS SUBPREFEITURAS (SMSP). **Política municipal de gerenciamento de riscos ambientais em áreas de ocupação precária**. São Paulo: Assessoria de Comunicação da Secretaria Municipal das Subprefeituras, 2003, 60 p.

SAUNDERS, J. H. **Comparison of Decision Accuracy in the Analytic Hierarchy Process and Point Allocation.**Washington. 1994. Disponível em: <http://www.johnsaunders.com/papers/ahpvpa/ahpvpa.htm>. Acesso em: 21 nov. 2008.

SAVAGE, W.Z., GODT, J.W., BAUM, R.L. **Modeling time-dependent aerial slope stability**, in Lacerda, W.A., Erlich, M., Fontoura, S.A.B., and Sayao, A.S.F., eds., Landslides—evaluation and stabilization, Proceedings of the 9th International Symposium on Landslides: London, A.A. Balkema Publishers, v. 1, 2004, p. 23-36.

SAVAGE, W.Z., GODT, J.W., AND BAUM, R.L. **A model for spatially and temporally distributed shallow landslide initiation by rainfall infiltration.** In Rickenmann, D. and Chen, C., eds., Debris-Flow Hazards Mitigation—Mechanics, Prediction, and Assessment: Rotterdam, Millpress (Proceedings of the 3rd International conference on Debris Flow Hazards, Davos, Switzerland, September 10-13, 2003), 2003, p. 179-187.

SCHMIDT, A. M. A. **Processo de apoio à tomada de decisão - Abordagens: AHP e MACBETH.** Dissertação (Mestrado). UFSC, Florianópolis. 1995. Disponível em: <http:// www.eps.ufsc.br/disserta/engait95.html>. Acesso em: 20 nov. 2008.

SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (SMA) – Instituto Geológico (IG) - **Carta de Risco a Movimentos de Massa e Inundação do Município de São Sebastião, SP**. São Paulo. Relatório e Anexos (15 mapas), 1996, 77 p.

SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (SMA) – Instituto Geológico (IG) - **Mapeamento de Risco a escorregamentos e inundação do município de São Sebastião, SP**. São Paulo. Relatório e Anexos, 2006, 302 p.

SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (SMA).Plano **de Manejo das Unidades de Conservação: Parque Estadual da Serra do Mar - Núcleo Caraguatatuba/São Sebastião - Plano de Gestão Ambiental.** São Paulo: SMA, 1998. 151 p.

SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (SMA) – Instituto Geológico (IG) - **O Instituto Geológico na Prevenção de Desastres Naturais**. Brollo, M. J. (org.) – São Paulo: Instituto Geológico, 2009,100 p.

SHIAU, Y.; TSAI, T.; WANG, W.; HUANG, M. **Use questionnaire and AHP techniques to develop subcontractor selection system.Chung Hua University**. 2002. Disponível em: http://fire.nist.gov/bfrlpubs/build02/P DF/b02143.pdf. Acesso em: 20 nov. 2008.

SOETERS, R. & VAN WESTEN, C.J. **Slope instability Recognition, analyses, and zonation**. *In:* Landslides investigation e mitigation, turner, A.K. & Schuster, R. L.Editors, National Academy Press, Washington, D.C.Special Report 247. Transportation research board, 1996, p. 129-177.

SPIKER, E.C. and GORI, P.L. **National landslide hazards mitigation strategy.A framework for loss reduction**. 2000. Open-File Report 00-450, 49 p.

SPIKER, E.C. and GORI, P.L. **National Landslide Hazards Mitigation Strategy – A Framework for Loss Reduction**, U.S. 2003.Geological Survey Circular 1244, 56 p.

STEIGUER, J. E. de; DUBERSTEIN, J.; LOPES, V. **The Analytic Hierarchy Process as a Means for Integrated Watershed Management.** 2005.Disponível em: <http://www.tucson.ars.ag.gov/icrw/Proceedings/Steiguer.pdf>. Acesso em: 07 abr. 2008.

SOUZA, C.R. de G. **Mapeamento de compartimentosfisiográficos de planície costeira e baixa encosta e da vegetação associada no Litoral Norte de SãoPaulo**. Anais do VI Simpósio Nacional de Geomorfologia, Goiânia (GO), 2006. CD-ROM.

TEKNOMO, K. Analytic Hierarchy Process (AHP) Tutorial. 2006. Disponível em: <http://people.revoledu.com/kardi/tutorial/ahp/>. Acesso em: 07 agosto de 2009.

TERLIEN, M.T.J., VAN WESTEN, C.J. and VAN ASCH, Th.W.J. **Deterministic modelling in GIS-based landslide hazard assessment**. In: Carrara, A. and Guzzetti, F. (eds.) Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, The Netherlands, 1995, p. 57-77.

TOMA, T.; ASHARIF, M. R. .**AHP coefficients optimization technique based on GA**. Department of Information Engineering of University of Ryukyus, Japão. 2003. Disponível em: http://bw-www.ie.u-ryukyu.ac.jp/~j94033/study/finalpaper2.html. Acesso em: 20 nov.2008.

TOMINAGA, L.K.; SOUZA, C.R. de G.; FEREIRA, C.J.; SANTORO, J.; VEDOVELLO, R. **Avaliação de riscos geológicos para aplicação em instrumentos de gestão ambiental**. In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, IV, Brasília (DF), ABGE. (trabalho completo: CD-ROM). 2001.

TOMINAGA, L.K.; FERREIRA, C.J.; VEDOVELLO, R.; TAVARES, R.; SANTORO, J.; SOUZA, C.R. de G. **Cartas de perigo a escorregamentos e de risco a pessoas e bens do Litoral Norte de São Paulo: conceitos e técnicas**. In: PEJON, O.; ZUQUETTE, L. (eds.) Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 5º, São Carlos (SP), 16-18/11/2004, ABGE. Anais. 2004 p. 205-216 (CD-ROM).

TURRINI, M. C. & VISINTAINER, P. **Proposal of a method to define areas of landslide hazard and application to an area of the Dolomites, Italy**.Engineering Geology, 1998. Vol 50: 255-265.

UNDRO – UNITED NATIONS DISASTER RELIEF OFFICE - **UNDRO's approach to disaster mitigation**.UNDRO News, jan.-febr. 1991. Geneva: Office of the United Nations Disasters Relief Coordinator. 1991. 20 p.

VALENCIA, N.A.J. & VELASQUEZ, E.M..**Evaluación de un Escenário de Riesgo por Fenomenos de Inestabilidade en Marmato - Caldas**. 2nd. Pan-American Symposium on Landslides- II PSL/COBRAE. ABMS - ABGE - ISSMGE. Anais Vol.2. Rio de Janeiro. 1997.pp.853-862.

VAN WESTEN, C.J., RENGERS, N., TERLIEN, M.T.J. and SOETERS, R. **Prediction of the occurrence of slope instability phenomenal through GIS-based hazard zonation**.Geologische Rundschau, 1997, vol 86: 404-414.

VARANDA, E. **Mapeamento Quantitativo de Risco de Escorregamentos para o 1º Distrito de Petrópolis/RJ utilizando Sistema de Informações Geográficas**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ), 2006, 137 p.

VARNES, D.J. **Slope movements: types and processes**. In: Schuster, R.L. and Krizek, R.J. (eds.) *Landslide analysis and control*, National Academy of Sciences, Transportation Research Board Special Report 176, Washington, 1978, 11-33.

VARNES, D. J. & IAEG. **Landslide hazard zonation: a review of principles and practice**. UNESCO.Paris.1984,63 p.

VARGAS, L.G. **An overview of the analytic hierarchy process and its applications**.European Journal of Operational Research, Amsterdam, 1990, v.48, p.2-8.

VARGAS, M. **Metodologia da pesquisa tecnológica**. Rio de Janeiro: Ed. Globo. 1985. 243p.

VAZ, L. F. **Classificação genética dos solos e dos horizontes de alteração de rochas em regiões tropicais**. Solos e Rochas, 1996, v. 19, n° 2, p. 117-136.

VILAS BOAS, C. L. de. **Método Multicritérios de Análise de Decisão (MMAD) para as Decisões Relacionadas ao Uso Múltiplo de Reservatórios: Analytic Hierarchy Process (AHP).** Goiânia: CPRM, 2005. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/rehi/simposio/go/metodo%20multicriterios%20de%20analise%20de%20decisao%20(MMAD)%20para%20as%20decisoes%20relacionadas%20ao%20uso%20multiplo%20.pdf>.Acesso em: 20 nov. 2008.

WESTEN, C. J.; RENGERS, N.; TERLIEN, M. T. J.; SOETERS, R. **Prediction of the ocurrence of slope instability phenomena through GIS-based hazard zonation**. Geologische Rundschau,v. 86, n. 2, 1997, p. 404-414.

WOLLE, C. M. **Poluicao e Escorregamentos: Causa e Efeito na Serra do Mar, em Cubatão , SP**. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundacões. Porto Alegre. **Anais**. São Paulo : Abms, 1986. v.7, 1986, p.178-90

YOSHIKAWA, N. K. **Nova Metodologia de Avaliação de Encostas Rochosas**. Tese de Doutorado. Escola Politécnica. Universidade de São Paulo – USP. 1997, 268 p.

ZUQUETTE, L. V. **Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: fundamento e guia para elaboração**. Tese Livre-docência em Geotecnia. Escola de Engenharia de São Carlos – EESC-USP, São Carlos. 1993. 2v. 368 p.