

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**ANÁLISE E MAPEAMENTO DAS OCORRÊNCIAS DE MOVIMENTOS DE MASSA
NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARANHANA (RS)**

EDUARDO SAMUEL RIFFEL

ORIENTADOR: PROF. DR. LAURINDO ANTONIO GUASSELLI

PORTO ALEGRE, SETEMBRO DE 2012.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**ANÁLISE E MAPEAMENTO DAS OCORRÊNCIAS DE MOVIMENTOS DE MASSA
NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARANHANA (RS)**

EDUARDO SAMUEL RIFFEL

Orientador: Prof. Dr. Laurindo Antonio Guasselli

Banca Examinadora:

Prof. Dra. Silvia Midori Saito (Cemaden/MCTI)

Prof. Dr. Luiz Bressani (PPG em Eng. Civil/UFRGS)

Prof. Dr. Roberto Verdum (PPG em Geografia/UFRGS)

**Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-graduação em
Geografia como requisito parcial
para obtenção do título de Mestre
em Geografia.**

PORTO ALEGRE, SETEMBRO DE 2012.

Riffel, Eduardo Samuel

Análise e mapeamento das ocorrências de movimentos de massa na bacia hidrográfica do Rio Paranhana (RS). / Eduardo Samuel Riffel. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2012.

[115 f.] il.

Dissertação (Mestrado). - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2012.

Orientador: Prof. Dr. Laurindo Antonio Guasselli

1. Movimentos de massa. 2. Rio Paranhana.
3. Geoprocessamento. I. Título.

Catálogo na Publicação
Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS
Alexandre Ribas Semeler CRB 10/1900

Agradecimentos

-Agradeço às instituições que possibilitaram a realização desta dissertação: UFRGS, PPG em Geografia, Anpur, IPEA e CEPSSRM.

-Ao professor Laurindo Antonio Guasselli pela orientação desta dissertação.

-Aos professores da banca, Silvia Midori Saito, Luiz Bressani e Roberto Verdum.

-Aos profissionais dos municípios que forneceram informações e acompanhamento nos trabalhos de campo: Abel Barcellos da Silva (Defesa Civil de Parobé), José Mauro (Geólogo da prefeitura municipal de Igrejinha), Bombeiros Voluntários de Três Coroas, Bombeiros Voluntários de Rolante, Bombeiros Militares de Taquara e Gramado.

-Aos colegas do mestrado e do LAGAM: Roberto Antunes, Vagner Paz Mengue, Guilherme Oliveira, João Paulo, Ednardo, Pedro Valente, Anderson Figueiredo, Rudimar, Renato e Thiago.

-À minha mãe Helena (*in memoriam*), meu pai Romeu e a Ana Luiza Alves, pelo apoio e incentivo em todos os momentos.

RESUMO

Este trabalho consiste de um estudo realizado na bacia hidrográfica do rio Paranhana - RS, onde foram analisadas ocorrências recentes de movimentos de massa nos municípios de Taquara, Parobé, Igrejinha, Três Coroas e Gramado. O levantamento dessas áreas com ocorrências de movimentos de massa foi obtido utilizando um GPS topográfico de precisão, e posteriormente relacionados ao mapeamento dos modelados geomorfológicos, das unidades geomorfológicas, da declividade e da altimetria, buscando assim identificar padrões nas ocorrências desses desastres. Tem como objetivo Identificar as áreas com suscetibilidade aos movimentos de massa, na bacia do rio Paranhana, utilizando técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto. A partir dos padrões de ocorrências de movimentos de massa identificados na bacia foi confeccionado um mapa de áreas suscetíveis a movimentos de massa, e um mapa de áreas urbanas suscetíveis a movimentos de massa. Com base nos resultados obtidos observou-se que associado a declividade, nas linhas de escharpa, em áreas de brusco aumento do grau de declividade, é onde estão registradas praticamente todas as ocorrências de movimentos de massa. Destaca-se também que parte das ocorrências de movimentos de massa estão localizados em áreas de vertentes côncavas, e de alta declividade. A exceção são as ocorrências com grande influencia antrópica, e que estão localizadas em vertentes convexas. Fato esse que pode ser explicado pelo tipo de ocupação da área, que ocorre principalmente em vertentes convexas e de alta declividade, influenciada pelo relevo da região.

Palavras-chave: movimentos de massa, rio Paranhana, geoprocessamento.

ABSTRACT

This work consists of a study on river basin Paranhana - RS. We analyzed recent occurrences of mass movements in the municipalities of Taquara, Parobé, Igrejinha, Três Coroas and Gramado. The survey of these areas with occurrence of mass movements was obtained using a precision GPS, and then related to geomorphological mapping, geomorphological units, declivity and altimetry, thus searching identify patterns in the occurrence of these disasters. It aims to identify areas susceptible to mass movements, in the river basin Paranhana using GIS techniques and remote sensing. From the pattern of occurrence of mass movements identified in the basin of Paranhana - RS, was made a map of susceptibility to mass movements, and a map of urban areas is located in areas of susceptibility to mass movements. Based on the results indicated that associated with declivity, slope of the lines, areas of sudden increase of the degree of declivity, is where practically all recorded instances of mass movements. It was observed that the majority of occurrences of the movement of mass are located in areas of concave slopes, and high declivity. Except for events that have great human influences, which are located on convex slopes. This fact can be explained by the occupation of the area, which occurs mostly in convex slopes and high declivity, influenced by the topography of the region.

Key-words: mass movements, Paranhana River, geoprocessing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Localização da bacia dos Sinos e do Paranhana - RS. _____	5
Figura 2 - Classificação dos elementos de encosta de uma paisagem de acordo com a sua forma. _____	18
Figura 3 - Ocorrência de Piping, município de Parobé - RS. _____	22
Figura 4 - Área de alta declividade com desmatamento para construção de condomínio no município de Três Coroas - RS. _____	44
Figura 5 - Movimento de massa do tipo circular, município de Três Coroas - RS. ___	46
Figura 6 - Deslizamento, município de Igrejinha - RS. _____	47
Figura 7 - Deslizamento no município de Igrejinha - RS, ocorrido no dia 23 de abril de 2011. Fonte: Paulo Nunes/Correio do Povo _____	48
Figuras 8 e 9 - Blocos de rocha decorrente de queda próximo de residência, e residências próximas de antiga área de mineração da prefeitura, Igrejinha - RS. ___	49
Figura 10 - Movimento de massa com risco de queda de blocos sobre residências, município de Parobé - RS. _____	51
Figura 11 - Mapa de pontos de ocorrências de movimentos de massa no período entre os anos de 2010 e 2011, nos municípios da bacia do rio Paranhana - RS ___	53
Figura 12 - Mapa de Unidades Geomorfológicas e pontos de ocorrência de movimentos de massa, bacia do rio Paranhana - RS _____	59
Figura 13 - Área de alta declividade localizada sobre a linha de escarpa, entre os municípios de Igrejinha e Três Coroas. _____	60
Figura 14 - Mapa de Tipos de Modelado Geomorfológico e pontos de ocorrência de movimentos de massa, bacia do rio Paranhana - RS _____	62
Figura 15 - Imagem de 2010, após a ocorrência de deslizamento no município de Três Coroas com localização do local de deslizamento e da RS-115. _____	64
Figura 16 - Imagem de 2005, anterior à ocorrência de deslizamento no município de Três Coroas, onde se percebe menor ocupação. _____	64
Figura 17 - Corrida de massa, área com pouca intervenção antrópica, município de Três Coroas - RS. _____	65
Figura 18 - Mapa de Elevação e pontos de ocorrência de movimentos de massa, bacia do rio Paranhana - RS _____	67

Figura 19 - Ocupação sobre área de vertente longa e de alta declividade, área considerada de risco pela Defesa Civil municipal, mas que ainda não apresentou movimentos de massa, município de Igrejinha. _____	69
Figura 20 - Mapa de declividades e pontos de ocorrência de movimentos de massa, bacia do rio Paranhana - RS _____	70
Figura 21 - Ocupação sobre área de vertente convexa, município de Igrejinha. ____	74
Figura 22 - Mapa de áreas suscetíveis à movimento de massa na bacia do rio Paranhana – RS _____	75
Figura 23 - Área de deslizamento em substrato rochoso, divisa dos municípios de Igrejinha e Três Coroas - RS. _____	77
Figura 24 - Corte realizado na base do morro, para construção de uma nova residência, município de Igrejinha - RS. _____	78
Figura 25 – Parte lateral de casa de alvenaria destruída por movimento de massa, e substrato rochoso, onde foi realizado um corte para construção da residência no município de Três Coroas - RS. _____	79
Figura 26 - Visão geral de parte urbana do município de Parobé, onde percebe-se a baixa densidade de casas e construções, e grandes áreas verdes. _____	80
Figura 27 - Mapa de áreas urbanas e dos pontos de ocorrência de movimentos de massa na bacia do rio Paranhana – RS _____	82
Figura 28 – Casa de médio padrão sendo construída em área de perigo no município de Igrejinha - RS. _____	85
Figura 29 - Mapa de áreas suscetíveis à movimentos de massa em áreas urbanas, bacia do rio Paranhana - RS _____	86
Figura 30 – Deslizamento de terra em borda de rodovia, entre os municípios de Gramado e Três Coroas. _____	88

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Classes de declividade, baseado na classificação da Embrapa (1995).	39
Quadro 2 - Ocorrência de desastres naturais, entre julho/2003 e março/2012	43
vale do Paranhana, bacia do rio dos Sinos - RS	43
Quadro 3 - Área das classes geomorfológicas na bacia do Paranhana - RS	58
Quadro 4- Quantidade de deslizamentos ocorridos em cada tipo de modelado geomorfológico da bacia do Paranhana-RS	63
Quadro 5 - Área das classes de elevação na bacia do Paranhana-RS	68
Quadro 6 - Área das classes de declividade na bacia do Paranhana-RS	71
Quadro 7 - Área das classes de suscetibilidade na bacia do Paranhana-RS	76

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	4
3.1 Geologia e Relevo	5
3.2 Solos.....	7
4. REFERENCIAL TEÓRICO	8
4.1 Desastres naturais	8
4.2 Movimentos de Massa	10
4.3 Forma de Vertentes.....	16
4.4 Ocupação de Encostas	23
4.5 Áreas de Risco.....	26
4.6 Sensoriamento Remoto.....	28
4.7 Geoprocessamento.....	30
4.8 Mapeamento de suscetibilidade, de risco e de perigo	32
5. METODOLOGIA	35
6. RESULTADOS	42
6.1 Ocorrência de desastres naturais na bacia hidrográfica do rio Paranhana ..	42
6.2 Classificação e caracterização de movimentos de massa na bacia do Paranhana	43
6.3 Unidades geomorfológicas.....	57
6.4 Tipos de modelados geomorfológicos.....	60
6.5 Mapa de elevação	66
6.6 Mapa de declividades.....	68
6.7 Áreas suscetíveis a movimentos de massa	73
6.8 Mapeamento da área urbana	79
6.9 Mapeamento das áreas suscetíveis a movimentos de massa em áreas urbanas.....	84
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	89
8. REFERÊNCIAS.....	91
9. ANEXOS	102

1. INTRODUÇÃO

O Brasil vem enfrentando nos últimos anos diversos impactos ambientais decorrentes do inadequado uso e ocupação do solo. Esses impactos se caracterizam principalmente por inundações e movimentos de massa, e afetam principalmente as áreas mais densamente urbanizadas.

De acordo com Scheuren et al. (2008) apenas no ano de 2007, 133 países foram atingidos por desastres naturais. Os prejuízos não se restringem apenas aos danos econômicos, mas ambientais e sociais.

A bacia hidrográfica do rio dos Sinos apresenta diversos problemas ambientais, principalmente do ponto de vista das inundações recorrentes e de grande magnitude e que afetam áreas urbanas importantes e densamente povoadas no Rio Grande do Sul como São Leopoldo, Novo Hamburgo e Taquara o que torna essas áreas vulneráveis e de risco para as populações.

Na bacia hidrográfica do rio Paranhana, uma das sub-bacias do rio dos Sinos, os problemas ambientais estão principalmente associados à ocorrência de movimentos de massa e inundações bruscas provocadas por chuvas intensas e concentradas, em áreas de relevo acidentado.

A inexistência de estudos nessa porção da bacia a respeito desses problemas, acarreta numa deficiência de dados sobre a real dimensão desses desastres, e é claro um impacto sobre as populações das áreas atingidas que muitas vezes poderia ter sido evitado.

O levantamento e a análise da espacialização das áreas de ocorrência de movimento de massa podem contribuir com propostas metodológicas para avaliar se existe a ocorrência de padrões de comportamento e da dinâmica desses processos no sentido de estabelecer zoneamentos, proporcionando ferramentas indispensáveis para reduzir os riscos ambientais e sociais.

O levantamento das áreas de ocorrência e a aplicação de metodologias adequadas se tornam urgentes, no sentido de buscar a produção de conhecimento científico fornecendo elementos como a representação espacial dos processos das áreas de ocorrência de desastres naturais na bacia.

A ocupação de encostas instáveis não ocorre apenas em grandes cidades, mas também se reproduz em cidades de pequeno e médio porte. Na

medida em que ocorre a retirada da cobertura vegetal, se dá a ocupação das encostas na área urbana com a implantação de moradias através de cortes no solo em áreas íngremes. Como consequência tem-se a ocorrência de movimentos de massa, que acabam por afetar principalmente os loteamentos irregulares e as invasões, desfavorecidos pelo descaso e/ou omissão do poder público e pela especulação imobiliária, mesmo em áreas impróprias para a construção de moradias.

A Lei Nº. 6.766 de 19 de dezembro de 1979 que regulamenta o parcelamento do solo urbano prevê a sua complementação por normas e leis Estaduais e Municipais, buscando adequar esta às particularidades regionais e locais. Essa lei impõe restrições ao uso do solo, com destaque para o Art. 3º, Inciso III, *não será permitido o parcelamento do solo em terrenos com declividade igual ou superior a 30%, salvo os que sejam previamente pavimentado e saneado.*

Assim, esse estudo analisou a bacia hidrográfica do rio Paranhana, localizada na bacia hidrográfica do rio dos Sinos, com vistas a identificação de áreas suscetíveis a danos causados por desastres naturais, provavelmente provocados por eventos pluviométricos extremos.

Para essa identificação foram utilizadas técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento e a sua correlação com dados obtidos em expedição realizada à área de estudo com a finalidade de coleta de dados.

Diante disso, buscou-se: a) identificar as áreas mais suscetíveis à ocorrência de movimentos de massa, b) compreender a sua dinâmica e c) analisar os impactos dessa degradação sobre a bacia, auxiliando assim na gestão ambiental.

A partir dessas questões, a escolha da temática de movimentos de massa na bacia do rio Paranhana, como problema de pesquisa, se justifica dado à demanda de conhecimentos que possam dar suporte as políticas de planejamento para os órgãos gestores municipais.

2. OBJETIVOS

A presente dissertação teve como objetivo geral:

Identificar e analisar as áreas com suscetibilidade aos movimentos de massa, na bacia hidrográfica do rio Paranhana, utilizando técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto.

Os objetivos específicos foram:

- a) Levantar as áreas com ocorrência de movimentos de massa;
- b) Espacializar os dados obtidos a partir de técnicas de geoprocessamento e identificar padrões nas áreas de ocorrência de movimentos de massa;
- c) Gerar mapa de unidades geomorfológicas, modelados geomorfológicos, mapa altimétrico e de declividades.
- d) Gerar mapa de suscetibilidade a movimentos de massa, baseado nos padrões identificados nas áreas de ocorrência de movimentos de massa;
- e) Identificar as áreas suscetíveis a movimentos de massa baseado nos resultados encontrados;
- f) Identificar áreas urbanas suscetíveis a movimentos de massa.

Como meta, espera-se que o trabalho possa contribuir trazendo subsídios para os órgãos gestores municipais, ao Comitê da bacia dos Sinos e ao Centro Estadual de Ensino e Pesquisa em Desastres - CEPED/RS, identificando e zoneando as áreas susceptíveis à ocorrência de movimentos de massa. Fornecendo ao poder público, dados referentes à dinâmica da bacia, buscando evitar maiores perdas no futuro, caso ocorram novos movimentos de massa na área.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O rio dos Sinos é um dos principais rios do Estado do Rio Grande do Sul, e forma, junto com mais sete rios, a Região Hidrográfica do Lago Guaíba.

A bacia hidrográfica do rio dos Sinos está situada a nordeste do Estado, entre as coordenadas 29° e 30° Sul e 50° e 51° Oeste. Possui uma área de 3.820 km², é formada por 32 municípios, o que corresponde a 4,5% da bacia hidrográfica do Guaíba, e 1,5% da área total do Estado do Rio Grande do Sul. Tem população aproximada de 975.000 habitantes, sendo que 90,6% ocupam as áreas urbanas e 9,4% estão nas áreas rurais. Esta bacia é delimitada pela bacia do Caí à Oeste e ao Norte, e ao Sul pela bacia do Gravataí. (FEPAM,2012)

O rio dos Sinos é dividido em três trechos, sendo o seu trecho médio caracterizado por ter declividade média, e extensão de aproximadamente 125 km, recebe o rio Paranhana, que drena uma área de 580 km², o rio Rolante, drenando 500 km², e o rio da Ilha com uma área drenada de 330 km². Possui alto índice pluviométrico, tornando seus afluentes importantes na definição do regime hídrico do rio.

O rio Paranhana recebe águas transpostas da bacia do Caí, das barragens do Salto, Divisa e Blang. Tem suas nascentes localizadas nos municípios de Canela, Gramado e São Francisco de Paula, a cerca de 900 m de altitude e sua confluência com o rio dos Sinos localiza-se no município de Taquara a uma altitude de 20 m. Dentro da área da bacia, ainda estão localizados os municípios de Três Coroas, Igrejinha e Parobé. Os principais afluentes do rio Paranhana são os arroios Solitário, Nicolau, Irapuã, Moreira, Angabei, Laranjeiras, Águas Brancas, Müller, Santa Maria e nascentes do Paranhana, sendo estes dois últimos, os principais formadores do rio Paranhana (PORTAL PROSINOS). A bacia do rio Paranhana está localizada na Figura 1:

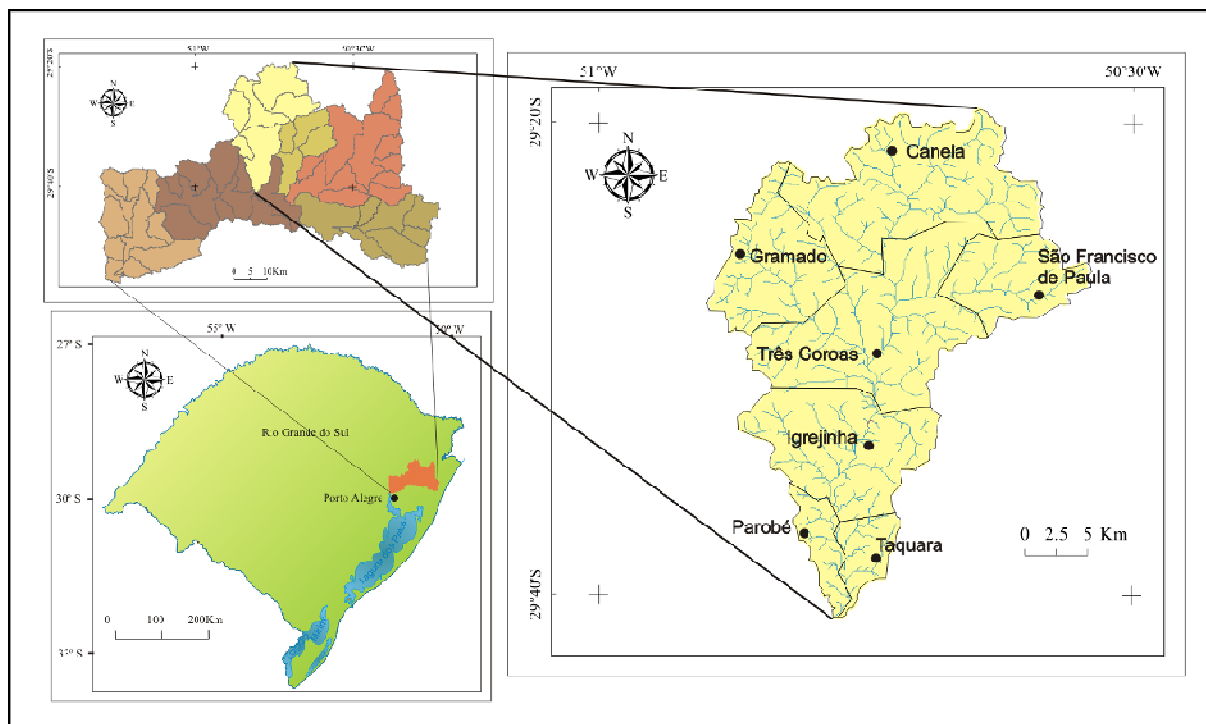


Figura 1- Localização da bacia dos Sinos e do Paranhana - RS.

De acordo com a classificação climática de Köppen, a bacia do rio Paranhana apresenta os Tipos Climáticos Cfa - mesotérmico (temperatura média do mês mais frio inferior a 18°C e do mês mais quente superior a 22°C), subtropical úmido sem estação seca - e Cfb - mesotérmico e temperado úmido (temperatura média do mês mais quente inferior a 22°C). As precipitações possuem médias de 2310 mm no município de São Francisco de Assis localizado na porção superior da bacia do Paranhana e 1401 mm no município de Taquara localizado na porção inferior da bacia. A temperatura média na região é de 14,4°C e a umidade relativa do ar têm média anual de 80% (MAGNA, 1996).

A cobertura vegetal de mata nativa da bacia está muito reduzida, os remanescentes localizam-se, predominantemente, nas nascentes do rio Paranhana em áreas de maior declividade (PROSINOS).

3.1 Geologia e Relevo

Quase em sua totalidade, mas principalmente na porção superior, onde está localizada a bacia do Paranhana, a bacia dos Sinos, estende-se sobre

um pacote de rochas originadas por eventos vulcânicos que constituem a denominada Formação Serra Geral. A paisagem atual da área é consequência da história evolutiva da Formação Serra Geral. A sucessão de derrames com sua estrutura interna peculiar é a responsável pela configuração escalonada das encostas do planalto e das vertentes dos vales dos rios que estão esculpindo a região. É fácil visualizar o topo quase plano do planalto, marcado por feições tabulares e as encostas marcadas por patamares horizontalizados, condicionados pelas zonas de fraturas horizontais, cobertos por boas espessuras de solos desenvolvidos a partir das zonas vítreas dos derrames, facilmente alteráveis pelos agentes geológicos superficiais, contrastando com as paredes quase verticais, inalteradas, condicionadas pelas fraturas verticais da zona central dos derrames (PROSINOS).

O relevo do Planalto dos Campos Gerais, segundo RADAMBRASIL (1986), desenvolvido predominantemente sobre as formações vulcânicas é marcado por colinas de pequena amplitude separadas por vales alargados por sucessivas etapas de dissecação que deixaram rupturas de declives e pequenos desníveis, constituindo-se num plano retocado, desnudado, truncando rochas sãs ou pouco alteradas.

O padrão de drenagem nessas áreas do planalto, em geral, é do tipo retangular e secundariamente angular com diversas orientações, controlado por fatores tectono-estruturais, com a rede fluvial encaixada ao longo dos planos de falhas e fraturas que se instalaram nas rochas basálticas, nos sucessivos estágios de sua evolução tectônica (RADAMBRASIL, 1986).

Segundo relatório técnico de vistoria em área de risco realizado no município de Rolante-RS pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM, 2010), a geologia regional é determinada pela ocorrência de rochas sedimentares areníticas da Formação Botucatu (J3K1bt) sobrepostas pelas vulcânicas básicas da Formação Serra Geral (K1_beta_gr). As coberturas quaternárias que ocupam as calhas dos vales correspondem aos depósitos eluviais e coluviais (N34ec) compostos por areias mal selecionadas com laminação plano-paralela incipientes.

3.2 Solos

Na superfície do planalto e na encosta da serra, as variações climáticas, produzindo oscilações de temperatura, umidade e escoamento superficial, somadas à instalação da vegetação, levaram à formação dos solos que atapetam as rochas dos derrames mesozóicos ali expostas. O Mapa Exploratório de Solos, publicado por RADAMBRASIL (1986), mostra que ali se desenvolveram complexas associações de tipos variados de solos em decorrência dos diferentes tipos de rochas que lhe deram origem sob influência de diversas condições de relevo, clima e vegetação.

A maior parte da bacia é composta por solos do tipo Cambissolo Bruno Húmico álico. São solos minerais, não hidromorfos, com elevado acúmulo de matéria orgânica. São solos típicos de altitude e ocupam uma porção muito extensa e homogênea do Planalto dos Campos Gerais. São pouco profundos, com uma coloração brunada, apresentando argila de atividade baixa e caulinita como argilo-mineral dominante. São solos fortemente ácidos.

Em toda a borda do planalto, voltada para a face Sul e Leste há elevado acúmulo de matéria orgânica, que chega a se caracterizar como turfoso, porém, ocorrem sempre associados a outros tipos de solos. Como segundo componente, ocorre a Terra Bruna estruturada e, como terceiro componente, uma associação complexa de Solos Litólicos com afloramento de rocha. Algumas localidades apresentam solos poucos espessos, sobre depósitos de colúvios, que somados a diversos outros fatores antrópicos e naturais podem ocasionar movimentos de massa nessa região (PROSINOS).

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Desastres naturais

Durante o século XX ocorreram modificações importantes no meio ambiente natural em decorrência do desenvolvimento econômico da humanidade. Estima-se que o planeta sofreu um aumento em sua temperatura na ordem de $0,6 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ durante este período. Para o grupo de trabalho I do Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC), a maior parte deste aumento ocorre devido à intensificação das concentrações dos gases responsáveis pelo efeito estufa, provenientes de atividades antrópicas (IPCC, 2007). O estudo dessas modificações nos ecossistemas em decorrência de alterações climáticas é extremamente importante, pois podem exercer pressões sociais e econômicas sobre a humanidade, que se utiliza da exploração de recursos naturais para seu desenvolvimento.

Os desastres naturais que ocorrem no Brasil são, na sua maioria, de origem atmosférica. A precipitação, seja em excesso ou em escassez, é o elemento atmosférico que mais contribui para a ocorrência de desastres na região Sul do Brasil. Os desastres naturais possuem características e magnitudes variadas. Em consequência da adequação que o homem faz as suas necessidades, o espaço natural muitas vezes não comporta todas essas modificações espaciais, acarretando em diversos impactos ambientais.

Desastres naturais podem ser conceituados, de forma simplificada, como o resultado do impacto de um fenômeno natural extremo ou intenso sobre um sistema social, causando sérios danos e prejuízos que excedem a capacidade dos afetados em conviver com o impacto (TOBIN & MONTZ, 1997; UNDP, 2004)

Essas ocorrências podem ser traduzidas em inundações, abalos sísmicos, erosões, deslizamentos, incêndios florestais, tempestades, ciclones etc, todos passíveis de posicionamento e mensuração da extensão da área comprometida pelo desastre. Para Furlan et al. (2011) os desastres naturais no Brasil são resultado de uma combinação da ocorrência de eventos extremos com a vulnerabilidade física e/ou socioeconômica que os locais

apresentam, portanto destaca-se a necessidade de se conhecer espacialmente quais áreas são mais susceptíveis a ocorrência de adversidades ambientais, e que possuem características que potencializam o risco. Para Braga et al. (2006) a grande incidência de eventos extremos justifica a necessidade de aprofundar o conhecimento científico sobre os efeitos desiguais destes eventos na população, assim como o desenvolvimento de metodologias de mensuração da vulnerabilidade a estes eventos.

Quanto a sua prevenção destaca Kobyama et al. (2006) que em escala mundial, cada R\$ 1,00 investido em prevenção, equivale em média a R\$ 30,00 de obras de reconstrução pós-evento.

Um dos principais desastres naturais e que é tema desse trabalho, consiste nos movimentos de massa, que merecem atualmente muita atenção devido a sua recorrência e possibilidade de mitigação e prevenção, diferente de outros fenômenos naturais como tempestades, terremotos, furacões etc.

Para Cunha & Guerra (2006), os condicionantes naturais podem, juntamente com o manejo inadequado, acelerar a degradação. Chuvas concentradas, encostas desprotegidas de vegetação, contato solo-rocha abrupto, descontinuidades litológicas e pedológicas, declividade das encostas são algumas das condições que podem acelerar os processos erosivos. Além disso, esses processos ocorrem caracterizados pela ausência, quase que completa, de áreas urbanizadas destinadas à moradia popular e pelas crescentes migrações. O processo de urbanização do Brasil levou a população mais pobre a ocupar áreas vazias desprezadas pelo mercado, áreas essas ambientalmente frágeis, como margens de rios e encostas íngremes, que foram e são ocupadas de forma precária.

Para Carvalho et al. (2007), a precariedade da ocupação aumenta a vulnerabilidade das áreas já naturalmente frágeis, fazendo com que surjam setores de alto risco que, por ocasião dos períodos chuvosos mais intensos, têm sido palco de graves acidentes.

Segundo Kobyama et al. (2006):

“No Brasil, os desastres naturais têm sido tratados de forma segmentada entre os diversos setores da sociedade. Nos últimos

anos vem ocorrendo uma intensificação dos prejuízos causados por estes fenômenos devido ao mau planejamento urbano. Ações integradas entre comunidade e universidade são fundamentais para que os efeitos dos desastres naturais sejam minimizados. A universidade deve contribuir na compreensão dos mecanismos dos desastres naturais através do monitoramento, diagnóstico e modelagem. Estas informações devem ser repassadas à sociedade, que, de forma organizada, deve agir para minimizar os danos provocados pelos desastres. Num contexto local, sugere-se a criação de grupos comunitários capacitados para agir antes, durante e depois do evento, auxiliando assim os órgãos municipais de defesa civil.”

4.2 Movimentos de Massa

A nível nacional, foi criado recentemente o CEMADEN que tem por objetivo desenvolver, testar e implementar um sistema de previsão de ocorrência de desastres naturais em áreas suscetíveis de todo o Brasil. A nível regional, foram criados os CEPEDs (Centro Estadual de Ensino e Pesquisas em Desastres), o objetivo é implementar 12 ao total no país, sendo que o de Santa Catarina e o do Rio Grande do Sul, já estão funcionando.

No Brasil, a falta de uma cultura de segurança e uma legislação adequada, inibe ações que levem em conta o ciclo dos desastres, fazendo com que as catástrofes tenham conseqüências significativas para o país.

Diversos autores têm trabalhado com a análise da ocorrência de movimentos de massa, entre eles, pode-se destacar (OKIDA, 1996; CREPANI, 2001; FELIPPE, 2007; GOMES, 2007; SILVA, 2009).

Os movimentos de massa são reconhecidos como os mais importantes processos geomórficos modeladores da superfície terrestre. Constituem-se no deslocamento de material, solo e rocha vertente abaixo sob a influência da gravidade, sendo desencadeados pela interferência direta de outros meios ou agentes independentes como água, gelo ou ar (BIGARELLA *et al*, 2003).

Christofoletti (1999) relaciona os movimentos de massa com as diversas dinâmicas naturais e também com a ocupação humana:

“A formação e a dinâmica do relevo se relacionam com diversos fatores, como as atividades tectônicas, as variáveis climáticas, atuação de fauna e flora, ação antrópica etc. Como parte dessa dinâmica ocorre os processos de vertente, entre os quais, os movimentos de massa, que envolvem o desprendimento e transporte de solo e/ou material rochoso vertente abaixo. A mobilização de material deve-se à sua condição de instabilidade, devido à atuação da gravidade, podendo ser acelerada pela ação de outros agentes, como a água. Alguns desses processos podem se constituir em provocadores de acidentes, causando prejuízos materiais e até perda de vidas em alguns casos. É o caso dos movimentos de massa, onde a ocupação humana atua como fator incrementador do desenvolvimento destes processos. (Christofolletti, 1999, pag. 150)”

Vieira et al. (2005) classifica as condicionantes de movimentos de massa ocorrentes nas cidades brasileiras em dois grandes grupos:

- **Condicionantes Naturais:** são as características físicas naturais das áreas que sofrem os movimentos de massa, como por exemplo: características geomorfológicas (relevo, topografia, declividade), características geológicas, pedológicas e geotécnicas. Tais características determinam a capacidade de suporte do solo aos diversos tipos de uso e ocupação. Características climáticas: ocorrências de chuvas. Regiões serranas de clima tropical e sub tropical favorecem a ocorrência de intensas chuvas, especialmente na estação de verão.

- **Condicionantes Antrópicos:** são determinados principalmente pelo padrão de uso e ocupação do solo. Encostas desmatadas; obras de terraplanagem que geram depósitos de terra (aterro) com estabilidade precária; habitações populares oriundas de assentamentos clandestinos, construídas sem procedimentos técnicos adequados, e compatíveis com o meio; grandes assentamentos irregulares desprovidos de obras de infraestrutura urbana básica, tais como: rede de drenagem de águas pluviais, rede coletora de esgotos e pavimentação adequada, entre outros. A ausência de

padrões urbanísticos, tal como desenho urbano de ruas, quadras e lotes compatível com o relevo.

Cunha & Guerra (2008) relacionam ainda, os movimentos de massa, com a forma da vertente. Segundo esses autores “A forma da encosta exerce influência, também, na geração de zonas de convergência e divergência dos fluxos d’água superficial e subsuperficial e de sedimentos, sobretudo as porções côncavas, sendo zonas preferenciais para a ocorrência de deslizamentos”.

Existem diversas classificações nacionais e internacionais relacionadas a deslizamentos. Neste projeto será adotada a classificação proposta por Augusto Filho (1992), onde os movimentos de massa relacionados a encostas são agrupados em quatro grandes classes de processos, sendo: Rastejos, Escorregamentos, Quedas e Corrida:

Rastejo (talus-creep, soil-creep, rock-creep)

Os rastejos são movimentos lentos, que envolvem grandes massas de materiais, cujo deslocamento resultante ao longo do tempo é mínimo (mm a cm/ano). Esse processo atua sobre os horizontes superficiais do solo, bem como, nos horizontes de transição solo/rocha e até mesmo em rocha, em profundidades maiores. Também é incluído neste grupo o rastejo em solos de alteração (originados no próprio local) ou em corpos de tálus (tipo de solo proveniente de outros locais, transportado para a situação atual por grandes movimentos gravitacionais de massa, apresentando uma disposição caótica de solos e blocos de rocha, geralmente, em condições de baixa declividade).

Este processo não apresenta uma superfície de ruptura definida (plano de movimentação), e as evidências da ocorrência deste tipo de movimento são trincas observadas em toda a extensão do terreno natural, que evoluem vagarosamente, e árvores ou qualquer outro marco fixo, que apresentam inclinações variadas.

Sua principal causa antrópica é a execução de cortes em sua extremidade média inferior, o que interfere na sua precária instabilidade.

Deslizamentos (landslides)

Os deslizamentos são processos marcantes na evolução das encostas, caracterizando-se por movimentos rápidos (m/h a m/s), com limites laterais e profundidade bem definidos (superfície de ruptura). Os volumes instabilizados podem ser facilmente identificados, ou pelo menos inferidos. Podem envolver solo, saprólito, rocha e depósitos. São subdivididos em função do mecanismo de ruptura, geometria e material que mobilizam. O principal agente deflagrador deste processo são as chuvas. Os índices pluviométricos críticos variam de acordo com a região, sendo menores para os deslizamentos induzidos e maiores para os generalizados.

Existem vários tipos de deslizamentos propriamente ditos, como: planares ou translacionais, os circulares ou rotacionais, em cunha e os induzidos. A geometria destes movimentos varia em função da existência ou não de estruturas ou planos de fraqueza nos materiais movimentados, que condicionem a formação das superfícies de ruptura. Os deslizamentos planares ou translacionais em solo são processos muito freqüentes na dinâmica das encostas serranas brasileiras, ocorrendo predominantemente em solos pouco desenvolvidos das vertentes com altas declividades. Sua geometria caracteriza-se por uma pequena espessura e forma retangular estreita (comprimentos bem superiores às larguras). Este tipo de deslizamento também pode ocorrer associado a solos saprolíticos, saprolitos e rocha, condicionados por um plano de fraqueza desfavorável à estabilidade, relacionado a estruturas geológicas diversas (foliação, xistosidade, fraturas, falhas, etc.).

Os deslizamentos circulares ou rotacionais possuem superfícies de deslizamento curvas, sendo comum a ocorrência de uma série de rupturas combinadas e sucessivas. Estão associadas a aterros, pacotes de solo ou depósitos mais espessos, rochas sedimentares ou cristalinas intensamente fraturadas. Possuem um raio de alcance relativamente menor que os deslizamentos translacionais.

Os deslizamentos em cunha estão associados a saprólitos e maciços rochosos, onde a existência de dois planos de fraqueza desfavoráveis à estabilidade condicionam o deslocamento ao longo do eixo de intersecção destes planos. Estes processos são mais comuns em taludes de corte ou

encostas que sofreram algum processo natural de desconfinamento, como erosão ou deslizamentos pretéritos.

Os deslizamentos induzidos, ou causados pela ação antrópica, são aqueles cuja deflagração é causada pela execução de cortes e aterros inadequados, pela concentração de águas pluviais e servidas, pela retirada da vegetação, etc. Muitas vezes, estes deslizamentos induzidos mobilizam materiais produzidos pela própria ocupação, envolvendo massas de solo de dimensões variadas, lixo e entulho.

Em geral, a evolução da instabilização das encostas acaba por gerar feições que permitem analisar a possibilidade de ruptura. As principais feições de instabilidade, que indicam a iminência de deslizamentos, são representadas por fendas de tração na superfície dos terrenos ou pelo aumento de fendas preexistentes, devido ao embarrigamento de estruturas de contenção, pela inclinação de estruturas rígidas, como postes, árvores, etc., pelo surgimento de degraus de abatimento e trincas no terreno e nas moradias.

Quedas (rock fall, debri-fall)

Os movimentos do tipo queda são extremamente rápidos (da ordem de m/s) e envolvem blocos e/ou lascas de rocha em movimento de queda livre, instabilizando um volume de rocha relativamente pequeno. A ocorrência deste processo está condicionada à presença de afloramentos rochosos em encostas íngremes, abruptas ou taludes de escavação, tais como, cortes em rocha, frentes de lavra, etc., sendo potencializados pelas amplitudes térmicas, por meio da dilatação e contração da rocha. As causas básicas deste processo são a presença de descontinuidades no maciço rochoso, que propiciam isolamento de blocos unitários de rocha; a subpressão por meio do acúmulo de água, descontinuidades ou penetração de raízes. Pode ser acelerado pelas ações antrópicas, como, por exemplo, vibrações provenientes de detonações de pedreiras próximas. Ressalta-se que as frentes rochosas de pedreiras abandonadas podem resultar em áreas de instabilidade decorrentes da presença de blocos instáveis remanescentes do processo de exploração.

Além da queda, existem mais dois processos envolvendo afloramentos rochosos, o tombamento e o rolamento de blocos.

O tombamento, também conhecido como basculamento, acontece em encostas/taludes íngremes de rocha, com descontinuidades (fraturas, diáclases) verticais. Em geral, são movimentos mais lentos que as quedas e ocorrem principalmente em taludes de corte, onde a mudança da geometria acaba desconfinando estas descontinuidades, propiciando o tombamento das paredes do talude.

Corridas de massa (earth-flow, mud-flow)

As corridas de massa são movimentos gravitacionais de massa complexos, ligados a eventos pluviométricos excepcionais. Ocorrem a partir de deslizamentos nas encostas e mobilizam grandes volumes de material, sendo o seu escoamento ao longo de um ou mais canais de drenagem, tendo comportamento líquido viscoso e alto poder de transporte.

Estes fenômenos são mais raros que os deslizamentos, porém podem provocar conseqüências de magnitudes superiores, devido ao seu grande poder destrutivo e extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas.

As corridas de massa abrangem uma gama variada de denominações na literatura nacional e internacional (corrida de lama, mud flow, corrida de detritos, corrida de blocos, debris flow, etc.), principalmente em função de suas velocidades e das características dos materiais que mobilizam.

Espósito et al. (2010) realizaram um estudo, no qual é dada ênfase na análise da geologia como um dos fatores condicionantes para a ocorrência de movimentos de massa. Segundo os autores, movimentos de massa catastróficos geram altos custos quanto à realocação de estruturas, obras de contenção, perda de produtividade industrial, agrícola e florestal, e de vias de transporte. Na paisagem há áreas com diferentes potenciais de risco aos movimentos de massa. Os principais condicionantes naturais da instabilidade de encostas são a declividade, a forma e a área de contribuição das vertentes, a estrutura do regolito e as propriedades do solo. Na bacia do Cercadinho, como na maior parte da zona sul de Belo Horizonte, a vulnerabilidade aos movimentos de massa é fortemente condicionada pela estrutura das rochas

metassedimentares do Quadrilátero Ferrífero, combinada com declividades acentuadas. Este estudo se propôs a investigar as vulnerabilidades naturais para movimentos de massa levando em consideração: declividade; correlação entre a direção de mergulho das camadas e orientação das vertentes; e correlação entre o ângulo de mergulho das camadas e declividade das vertentes. O resultado foram mapas identificando áreas de maior e menor risco.

4.3 Forma de Vertentes

Uma vertente contém subsídios importantes para a compreensão dos mecanismos morfogenéticos responsáveis pela elaboração do relevo na escala de tempo geológico (propriedades geocológicas), permitindo entender as mudanças processuais recentes (processos morfodinâmicos), na escala de tempo histórico, se individualizando como palco de transformações socio-reprodutoras. (CASSETTI, 2005)

O conceito de vertente é essencialmente dinâmico, uma vez que permite delimitar um espaço de relações processuais de natureza geomorfológica, incorporando os mais diferentes tipos de variáveis. Cruz (1982) observa que “o estudo geomorfológico da evolução atual das vertentes é extremamente importante quanto ao entendimento espaço-temporal dos mecanismos morfodinâmicos atuais e passados. Os estudos morfodinâmicos mais atuais levam ao cerne do estudo geomorfológico por excelência, ajudando o entendimento das paisagens geográficas”. Ressalta ainda que “são eles que mostram os mecanismos dessa evolução e levam ao melhor entendimento dos estudos morfogenéticos de épocas passadas”.

Quanto à disposição da vertente, Casseti (1983) observa que apesar de geralmente se atribuir grande importância ao declive, a forma geométrica da vertente apresenta relevância no resultado de perdas de terra, apesar de uma relação de relevo significativamente elevada em determinadas parcelas.

Com relação à perda de água, ou ao volume de água escoada por parcela, o autor registra também estreita correspondência com a modalidade de uso ou cobertura vegetal nas respectivas áreas.

Para Christofolletti (1980), a análise da morfologia das vertentes inclui as seguintes variáveis:

- Unidade de vertente: são os segmentos ou elementos das vertentes;
- Segmento: porção de perfil na qual os ângulos permanecem constantes, adquirindo um caráter retilíneo;
- Elemento: porção de vertente na qual a curvatura permanece aproximadamente constante; pode ser convexa, quando os ângulos aumentam continuamente para baixo; ou côncava, quando estes decrescem;
- Convexidade: conjunto de todas as partes de um perfil no qual há aumento dos ângulos em direção a jusante;
- Concavidade: conjunto de todas as partes de um perfil no qual há diminuição dos ângulos em direção a jusante;
- Seqüência: porção do perfil consistindo sucessivamente de uma convexidade, de um segmento com declividade maior que a unidade superior e inferior, e de uma concavidade;
- Ruptura do declive: ponto de passagem de uma unidade à outra.

Bloom (1970), utilizando-se dos modelos geométricos de vertente de Troeh (1965), divide os quatro principais tipos de encostas em dois grupos. A Figura 2 mostra como as encostas podem ser subdivididas com relação aos seus elementos componentes “a” e “b”:

- a) “coletoras de água”, com contornos côncavos (quadrantes I e II); e
- b) “distribuidoras de água”, com contornos convexos (quadrantes III e IV).

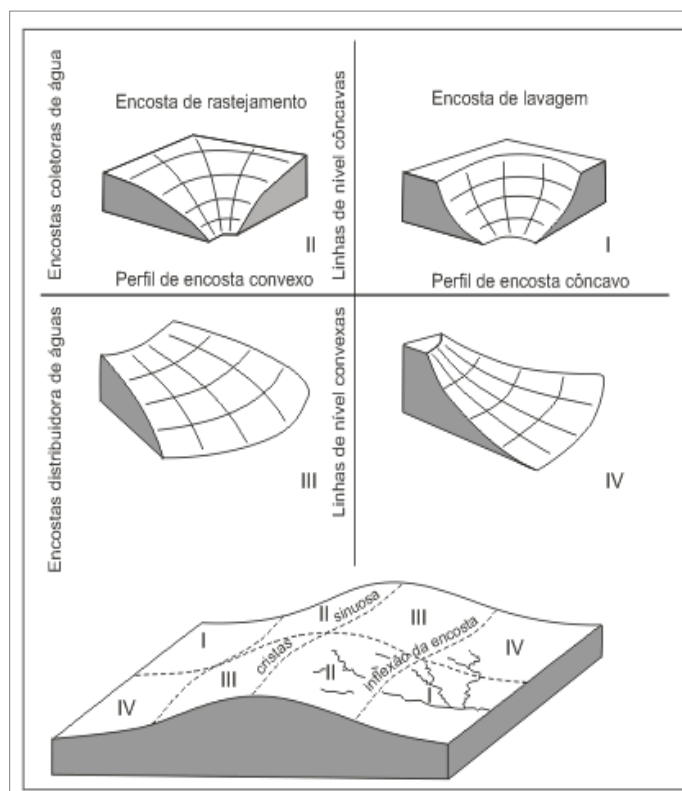


Figura 2 - Classificação dos elementos de encosta de uma paisagem de acordo com a sua forma.

Fonte: Troeh (1965).

O eixo vertical do diagrama separa as encostas com perfis convexos, que facilitam o desenvolvimento do rastejamento (quadrantes II e III), das encostas com perfis côncavos, que favorecem a lavagem pela água das chuvas (quadrantes I e IV).

Segundo IPT (1991) dentre os principais problemas relacionados ao processo de ocupação de vertentes destacam-se as atividades erosivas, geralmente determinadas pelas seguintes causas: Remoção da vegetação; Concentração de águas pluviais; Exposição de terras susceptíveis à erosão; Execução inadequada de aterros.

As rochas coerentes exigem primeiramente uma intervenção da componente perpendicular antes da ação da componente paralela, ou seja, antes que os detritos sejam carregados é necessário que sejam formados. Portanto, a natureza da rocha, além de responder pelo comportamento da formação superficial, intervém no perfil da vertente, no seu declive médio e na velocidade de seu recuo ou evolução.

Penteado (1974) mostra que “o comportamento de uma estrutura em relação à erosão depende da natureza das rochas (propriedades físicas e químicas) sob ação de diferentes meios morfoclimáticos”. Dentre as propriedades básicas de uma rocha a autora destaca o grau de coesão, o grau de permeabilidade e o grau de plasticidade influenciam no modo de escoamento superficial. Além dessas existem outras propriedades que influenciam na desagregação mecânica como o grau de macividade e o tamanho dos grãos. Outras ainda facilitam a decomposição química, como grau de solubilidade e grau de heterogeneidade. As rochas cristalinas, especialmente os granitos, são coerentes, impermeáveis, não plásticas, mas possuem planos de descontinuidade e são heterogêneas. Os arenitos apresentam além de planos de diaclasamento, planos de estratificação, sendo relativamente homogêneos. Os calcários são coerentes, pouco plásticos e homogêneos, distinguindo-se pela permeabilidade dada ao fissuramento e solubilidade. As argilas e xistos possuem fraca resistência à erosão por escoamento superficial e têm grande plasticidade.

Diversas características erosivas são descritas por Cassetti (2005), entre elas, o efeito *splash*, que se constitui na etapa inicial da erosão, seguida pelo escoamento da água sobre a vertente, responsável pela retirada e transporte do material desagregado. Tais efeitos resultam, da remoção da cobertura vegetal quando da ocupação da vertente, agravando-se com a remoção de parte dos depósitos de cobertura, capa protetora natural contra a erosão. A concentração da água pluvial proporciona o aumento de energia que, em contato com a superfície exposta, desencadeia o processo de erosão.

Também os diferentes tipos de material que compõem o depósito de cobertura reagem aos efeitos erosivos em função do comportamento destes, com destaque para a origem e a textura. A exposição do terreno, decorrente do decapeamento da vertente por atividades mecânicas (movimento de terra), é um fator indutor de processos erosivos pela ação da água. Se não forem tomadas medidas mitigadoras imediatas, há o risco de comprometer irremediavelmente toda a área.

Diversos autores destacam a relação da declividade com os movimentos de massa, e uma das feições características da alta declividade é

a linha de escarpa. Segundo (DANTAS *et al.*, 2005; SCHEIBE *et al.*, 2010, pag. 04)

“O cenário imponente da escarpa da Serra Geral é marcado por uma dissecação diferencial do seu front, produzida pela rede de canais que esculpem profundos vales em “V”, delineados por condicionantes estruturais do substrato. Nestes terrenos íngremes, os solos tendem a ser muito rasos, ainda que sustentem uma vegetação de porte florestal, devido ao clima muito úmido. Esta condição geocológica caracteriza a escarpa da Serra Geral como uma unidade geomorfológica muito suscetível a movimentos de massa, destacando-se deslizamentos rasos translacionais no contato solo-rocha durante eventos climáticos de extrema pluviosidade. Os movimentos de massa detonados nas altas vertentes da escarpa catalisaram grandes torrentes de fluxos detríticos e corridas de lama que percorreram os principais eixos de drenagem e que esparramam grande massa de sedimentos nas planícies alúvio-coluvionares imediatamente a jusante.”

Bazzan *et al.*, (2006) utiliza o termo linha de escarpa para descrever a ruptura no relevo identificada próximo da foz do afluente arroio Lajeado Calça-Bota, onde os movimentos de massa são comuns devido à alta declividade.

Baptista *et al.*, (2005) destaca que valores altos de amplitude de relevo e declividade das encostas propiciam maior intensidade dos processos morfodinâmicos e mais elevada suscetibilidade à erosão e ao escorregamentos de terra. Em relevos menos enérgicos verificam-se menores volumes e velocidades de escoamento das águas pluviais, implicando suscetibilidades menos elevadas.

Segundo o IPT (1991), Outro aspecto causador das atividades erosivas é a construção inadequada de aterro, como o simples lançamento de material sobre a superfície natural, sem a devida compactação tornando a área suscetível à erosão, e comprometendo rapidamente a obra. O rastejo pode ser incrementado com a execução de cortes na extremidade inferior da vertente, interferindo na precária estabilidade de uma vertente de grande inclinação.

Dentre os fatores que geram fluxo de subsuperfície podem se considerar as descontinuidades de horizontes pedogênicos e os contatos litoestratigráficos diferenciados por fatores texturais. O fenômeno pode se dar também nos casos de litologia subjacente impermeável, como dos basaltos portadores de maior macividade, responsáveis pelo armazenamento da água percolada, implicando fluxo de subsuperfície. As forças físicas se manifestam através da viscosidade ao longo das margens do fluxo, cuja magnitude encontra-se relacionada à porosidade da seção. Forças eletroquímicas assumem maior importância sob pequenas partículas, partículas coloidais e partículas moleculares. (CASSETI, 2005)

Dentre os processos que aparecem em tais circunstâncias evidencia-se o *piping*, comumente relacionado às diferenças texturais de seqüências litoestratigráficas ou de horizontes pedológicos estruturais que respondem por escoamento de subsuperfície, podendo ser acompanhado pela solução química de certos componentes minerais. O processo evolutivo de formas associadas ao *piping* responde pela origem de sistema de cavernas ou dutos. Na área de saída do fluxo confinado pode-se ter a presença de alvéolos nas paredes, também denominados de “alcovas de regressão”, por encontrarem-se associadas à erosão remontante. (CASSETTI, 2005)



Figura 3 - Ocorrência de *Piping*, município de Parobé - RS.

Fonte: Trabalho de campo realizado em 09/07/2011.

“A canalização de nascentes de cursos d’água é uma medida necessária, principalmente em casos de piping , quando a água verte do talude e promove a formação de verdadeiras tubulações que insidiosamente provocam abatimentos no terreno. De acordo com Salomão & Rocha (1989) tratar as águas superficiais, provenientes do lençol freático ou do lençol suspenso é um dos maiores desafios existentes na execução de obras em boçorocas, estando pouco desenvolvidas por não haver técnicas totalmente eficazes. A ação das águas subterrâneas é apontada como uma das causas do desenvolvimento lateral das boçorocas. Quando a boçoroca atinge o lençol freático, os mecanismos de erosão são intensificados, em função do surgimento de um gradiente piezométrico que, ao emergir no pé do talude, apresenta suficiente força para deslocar partículas sólidas, podendo estabelecer o processo de erosão tubular regressiva (entubamento ou piping). Ocorre também a liquefação do material arenoso pela lenta percolação de água junto à parede da boçoroca, ocorrendo uma diminuição da coesão do solo e conseqüente solapamento do talude. O tratamento convencional é feito com a aplicação de drenos enterrados, visando à drenagem das águas subsuperficiais de maneira a impedir o arraste do solo pelo piping.” (NASCIMENTO, 1994, pag. 79).

A ação coloidal se constitui na principal forma de erosão associada à água de subsuperfície. Para Hurst (1975) “os sistemas coloidais importantes para o intemperismo são notadamente as suspensões nas quais a fase dispersa é matéria orgânica ou mineral e o meio dispersante é água ou solução aquosa”. As partículas do tamanho de colóide podem naturalmente resultar de precipitação, dissolução, degeneração bacteriológica ou trituração física (pulverização). Como exemplo de mobilidade dos elementos coloidais tem-se os silicatos, que se quebram em solução variada e reações de troca iônica; os íons que estão dissolvidos ou fixos aos colóides dispersos podem ser transportados pela água subterrânea para longe do seu ponto de origem. Produtos de decomposição menos solúveis ou absorvidos por géis tendem a permanecer onde se originaram, concentrando-se como produtos residuais do intemperismo (CASSETTI, 2005).

4.4 Ocupação de Encostas

De acordo com IPT (1991) dentre as principais causas associadas à intervenção humana na indução de escorregamentos destacam-se:

- Lançamento e concentração de águas pluviais;
- Lançamento de águas servidas;
- Vazamentos na rede de abastecimento de água;
- Fossa sanitária;
- Declividade e altura excessivas de cortes;
- Execução inadequada de aterros;
- Deposição de lixo;
- Remoção indiscriminada da cobertura vegetal.

O IPT (1991) propõe, como principais medidas para o gerenciamento de encostas ocupadas, a análise ou o diagnóstico de risco e o quadro legal, correspondente à legislação concernente ao uso do solo:

a) Análise de risco

“Entende-se por risco a possibilidade de perigo, perda ou dano, do ponto de vista social e econômico, a que a população esteja submetida caso ocorram escorregamentos e processos correlatos” (IPT, 1991). Para prever ou

atenuar a possibilidade de riscos tornam-se necessárias observações e registros de indicadores de instabilidade, tanto naturais quanto produzidos pelas derivações antropogênicas, prognosticados sob a ótica das possíveis conseqüências erosivas.

b) Quadro Legal

“A caracterização do meio físico deve ser complementada com informações referentes ao quadro legal, isto é, deve-se verificar as relações legais à ocupação do solo que existem em nível federal e estadual e, se houver, em nível municipal. Importa ressaltar que a competência dos Municípios, nesta matéria, é ampla” (IPT, 1991). Apresentam-se algumas observações quanto à legislação existente, importantes no planejamento da ocupação de áreas de risco.

- A Constituição Federal de 1988, com o objetivo de promover melhor ordenamento do uso e ocupação do solo urbano, estabelece em seu Art. 182, a exigência de Planos Diretores para cidades com mais de 20 mil habitantes;

- A Constituição do Estado do Rio Grande do sul, ratifica em seu Art. 177 a exigência de Planos Diretores para localidades com mais de 20 mil habitantes, observando a necessidade de “serem contemplados os aspectos de interesse local e respeitar a vocação ecológica, serão compatibilizados com as diretrizes do planejamento do desenvolvimento regional.” (parágrafo 1º do Art. 177).

O diagnóstico elaborado pelo IPT (1991) apresenta capítulo específico voltado ao planejamento da ocupação de encostas, partindo do necessário reconhecimento dos graus de risco ou vulnerabilidade do meio físico. Utiliza elementos como cartas de declividade do terreno, comportamento do material (formações superficiais e características litológico-estruturais), intensidades pluviométricas, dentre outros. A produção de cartas temáticas culmina na elaboração de Carta Geotécnica, responsável pela espacialização de áreas permissíveis ou restritivas ao uso e ocupação dos compartimentos. A carta-síntese, que tem por princípio subsidiar a gestão do território, permite a identificação de áreas produtivas e críticas, bem como das áreas institucionais, que levam em consideração as restrições legais. O manual do

IPT (1991) chama atenção para as principais leis aplicáveis aos municípios, onde se deve considerar:

- parcelamento urbano apenas em regiões que integrem efetivamente o perímetro urbano do município;
- setorização da cidade em zonas de uso (industrial, comercial, residência, etc.);
- exame, pela Prefeitura, do projeto de ocupação, assegurando a conexão adequada ao sistema viário circundante;
- enquadramento às posturas municipais referentes a loteamentos, arruamentos, córregos, drenagens, etc.;

Em nível estadual e federal, as principais leis estão relacionadas a:

- faixa não edificável ao longo de ferrovias, rodovias, dutos, linhas de transmissão, córregos, etc.;
- preservação ambiental de áreas específicas constantes do Código Florestal, dentre outras;
- características a serem adotadas nos loteamentos (Lei 6.766/79) e leis estaduais correspondentes.

Em geral, são feitas considerações quanto à definição do traçado mais favorável do arruamento, tendo por princípio acompanhar as condições naturais do terreno, evitando-se ao máximo, os movimentos de terra, interferências do traçado do sistema viário sobre os lotes e drenagem, além de estabelecerem-se critérios para a concepção de loteamentos (definição de formas e áreas de lotes mais favoráveis, definição de quadras mais favoráveis, drenagens e esgotamento sanitários em grupos de lotes), concepção das habitações (tipologia básica de projetos de habitações específicas para encostas e projetos de reurbanização), (CASSETI, 2005).

Com base em levantamentos realizados no Brasil, o IPT (1991) constatou que a perda de solos por erosão laminar acelerada, desencadeada pela ocupação humana, depende de fatores naturais que podem ser agrupados em três conjuntos:

- a) ligados à natureza do solo, envolvendo principalmente as suas características físicas e morfológicas, tais como: textura, estrutura, permeabilidade, dentre outras;

b) ligadas à morfologia do terreno, envolvendo a conformação da encosta, no que se refere principalmente à declividade e comprimento da encosta; e

c) ligados ao clima, envolvendo essencialmente a quantidade de água que atinge a superfície do terreno, causando remoção do solo através de chuvas.

4.5 Áreas de Risco

Devido aos desastres naturais, principalmente movimentos de massa, serem cada vez mais recorrentes e constantes, se faz necessário uma homogeneização dos termos utilizados para sua designação, devido a uma confusão de nomenclaturas, seja para uso dos órgãos públicos em equipes técnicas na elaboração de planos de estudo, prevenção ou auxílio, seja na difusão pelos meios de comunicação.

No presente trabalho será utilizada a nomenclatura proposta pelo IPT (2007), que define:

•**Evento**: Fenômeno com características, dimensões e localização geográfica registrada no tempo, sem causar danos econômicos e/ou sociais;

•**Perigo (Hazard)**: Condição ou fenômeno com potencial para causar uma conseqüência desagradável;

•**Vulnerabilidade**: Grau de perda para um dado elemento, grupo ou comunidade dentro de uma determinada área passível de ser afetada por um fenômeno ou processo;

•**Suscetibilidade**: Indica a potencialidade de ocorrência de processos naturais e induzidos em uma dada área, expressando-se segundo classes de probabilidade de ocorrência;

•**Risco**: Relação entre a possibilidade de ocorrência de um dado processo ou fenômeno, e a magnitude de danos ou conseqüências sociais e/ou econômicas sobre um dado elemento, grupo ou comunidade. Quanto maior a vulnerabilidade, maior o risco;

•**Área de Risco**: Área passível de ser atingida por fenômenos ou processos naturais e/ou induzidos que causem efeito adverso. As pessoas que habitam essas áreas estão sujeitas a danos à integridade física, perdas

materiais e patrimoniais. Normalmente, no contexto das cidades brasileiras, essas áreas correspondem a núcleos habitacionais de baixa renda (assentamentos precários).

Égas et al. (2010) conceitua áreas de risco a deslizamentos como aquelas áreas em que as estruturas geológicas somadas às formas do relevo, a espessura dos solos e a ação antrópica, constituem um conjunto que, submetidos a longos e intensos períodos de chuvas e, conseqüente saturação do binômio solo-rocha alterada, coloca a área em permanente situação de risco.

Rosa Filho & Cortez (2008) ao estudar áreas de risco no município de Campos do Jordão - RJ destacam alguns dos motivos pelo qual os moradores permanecem em áreas de risco:

“Entendemos que essas favelas configuram-se, sob a lógica da urbanização brasileira, como áreas de segregação sócio-espacial, representativas das periferias das cidades turísticas e/ou industriais. Ao analisar a questão inicial, por que essa população não deixa as áreas de risco, mesmo sabendo do perigo, levantamos a priori, que a principal dificuldade em sair da área está na decorrência da falta de outras perspectivas de lugar de moradia. Somamos a esta hipótese inicial, outras reveladas pelo trabalho de pesquisa. As condições precárias de submoradias e o baixo padrão de vida dos moradores dessas duas favelas decorrem, quase sempre, do baixo padrão de remuneração que obtêm em subempregos, da localização das favelas, localização esta em relação à acessibilidade social, ou seja, aos “benefícios” urbanos e, ainda, das políticas públicas que reiteram a segregação sócio-espacial no município. Observou-se que essas pessoas apresentam certa acomodação em relação ao seu local de moradia, chegando a quase um estado de inércia, o que dificulta a remoção dos mesmos para outras áreas. Há ainda a percepção do perigo distorcido, ou seja, o morador percebe que o perigo pode acontecer com o outro e nunca consigo mesmo. Além disso, há fatores de ordem econômica, cultural e histórica que corroboram para esse estado de inércia desses moradores.”(Rosa filho & Cortez,2008, pag 591)

4.6 Sensoriamento Remoto

Os avanços tecnológicos dos anos 60 resultaram na criação do programa LANDSAT da NASA e em 23 de julho de 1972 os Estados Unidos lançaram o primeiro satélite de sensoriamento remoto, o ERTS-1, mais tarde denominado LANDSAT-1, a partir daí passou-se a receber imagens da Terra desde o espaço de forma regular a cada 16 dias. Este foi o primeiro programa de satélite de sensoriamento remoto do mundo e permanece até hoje. Depois do lançamento do satélite LANDSAT surgiram dezenas de programas de satélites de Observação da Terra, já tendo sido lançados mais de 65 satélites deste tipo construídos por países como Alemanha, Canadá, China e Brasil, Coréia, França, Índia, Inglaterra, Israel e Japão.

É possível utilizar dados de sensoriamento remoto para estudos de movimentos de massa, seja através da detecção das conseqüências desses processos, tais como cicatrizes (remoção da cobertura vegetal e exposição do solo), ou do estudo de indicadores.

Os indicadores são mudanças na resposta (características espectrais detectadas pelos sensores remotos) da cobertura vegetal (já degradada, às vezes até por escorregamentos anteriores), uso da terra, tipologia das encostas e até mesmo, dissecação do relevo. Nos escorregamentos, a remoção da cobertura vegetal seguida da exposição do solo ou rocha imprime diferenças de tonalidade, cor, textura e matiz na imagem, além de apresentarem formas específicas, permitindo a interpretação de tais feições (SESTINI & FLORENZANO, 2003).

Diversos estudos buscaram identificar e mapear cicatrizes de escorregamentos, vulnerabilidades e movimentos de massa utilizando dados de sensoriamento remoto e geoprocessamento (SESTINI & FLORENZANO, 2004; CARVALHO, 2003) ora se utilizando de análise temporal (RIEDEL et al., 2008;), buscando estabelecer áreas de suscetibilidade (TEIXEIRA & SOUZA, 2008; VANACÔR, 2006), definindo variáveis geomorfológicas (CASTRO, 1998; SESTINI, 1999), definindo áreas de risco (DAL'ASTA, 2005), modelando espacialmente os movimentos de massa (WERLANG et al., 2005), comparando métodos de avaliação (MARCELINO & FORMAGGIO, 2004), definindo instabilidade potencial (SILVEIRA et al., 2005), avaliando as

unidades de paisagem implicadas nesse processo (BAPTISTA, 2005; AMORIM & OLIVEIRA, 2008) ou analisando a ocupação urbana em áreas de risco (BUENO, 2002; AMORIM et al., 2007).

Existem diversas metodologias para se avaliar as áreas vulneráveis aos movimentos de massa. Uma delas que é amplamente utilizada é o mapeamento e geração de uma carta de vulnerabilidade à perda de solo (CREPANI et al., 1996).

A metodologia elaborada para a geração da carta de vulnerabilidade à perda de solo foi desenvolvida a partir do conceito de Ecodinâmica de Tricart (1977), baseado na morfogênese (processo de modificação das formas de relevo) e na pedogênese (processo que dá origem à formação dos solos), e da potencialidade para estudos integrados de imagens orbitais e sistemas de informação geográfica.

A imagem orbital é considerada a “âncora” dessa metodologia, pois a partir dela é possível a extração das informações básicas e recentes da área de estudo, com a possibilidade de se utilizar todo o potencial do sensoriamento remoto e dos SIGs, aplicável em diferentes produtos disponíveis. As imagens orbitais vêm sendo os produtos mais utilizados nestes estudos e sobre estas, na composição mais adequada ao intérprete, desenvolve-se o trabalho de análise e interpretação que permite a confecção de um mapa contendo as Unidades Territoriais Básicas (UTBs).

O mapa de UTBs, resultado da interpretação da imagem orbital, é associado aos dados preexistentes (mapas geológico, geomorfológico, de solos e de vegetação) para que cada unidade de paisagem seja caracterizada quanto à sua morfodinâmica.

O sensoriamento remoto representa uma ferramenta importante para a obtenção de dados básicos e espaciais, para realização de tarefas de proteção do ambiente natural, bem como para decisões de planejamento, fornecendo estruturas básicas para a observação do meio (BLASCHKE & KUX, 2005).

Marcelino (2003) desenvolveu uma abordagem quantitativa para a elaboração de mapeamento de áreas susceptíveis a escorregamentos, utilizando técnicas de sensoriamento remoto e SIG. Buscou selecionar a técnica de fusão de imagens ópticas orbitais mais adequada para a

identificação de cicatrizes de escorregamentos e a técnica de inferência geográfica, que gerasse o mapa de susceptibilidade a escorregamentos mais preciso.

A área de avaliação da metodologia foi o município de Caraguatatuba, Litoral Norte de São Paulo, em virtude de eventos catastróficos ocorridos e da existência de um banco de dados geográficos adequado para esta pesquisa. Realizou uma avaliação cartográfica do banco de dados para a definição da escala de trabalho. O RMSE encontrado na avaliação foi de 43,12m, o que possibilitou realizar mapeamento em escala igual ou inferior a 1:100.000. Para a elaboração do mapa de inventário, realizou uma avaliação da qualidade espacial, espectral e potencial fotointerpretativo das imagens fundidas pelos métodos Brovey, HSV, PCA, IHS, WTVE e WTYO. Utilizou o classificador Maxver e análise visual sobre a imagem IHS, sendo possível identificar 497 cicatrizes. Destas 397 foram utilizadas na ponderação das variáveis geoambientais e suas respectivas classes e 100 foram utilizadas para a avaliação dos mapas de susceptibilidade. Para as técnicas de Média Ponderada e AHP, verificou-se grande similaridade nos resultados, principalmente na classe Muito Alta de susceptibilidade, com correlação de 62%. A Probabilidade Condicional foi a técnica que apresentou o melhor resultado, com destaque para a correlação de 95% para a classe Muito Alta. Através deste método, concluiu-se que as áreas mais susceptíveis a escorregamentos na área de estudo estão localizadas nas médias encostas da Serra do Mar, em virtude da elevada declividade e da presença de solos rasos (Cambissolos).

4.7 Geoprocessamento

O geoprocessamento viabiliza a identificação de elementos da dinâmica terrestre em imagens de satélite, cartas topográficas, mapas, etc. Segundo Câmara et al. (1996), os SIGs possibilitam a integração numa única base de dados, de informações geográficas provenientes de diversas fontes; e permitem a recuperação, manipulação e visualização destes dados, por meio de algoritmos de manipulação e análises. Além de possibilitar a construção

de um banco de dados e a distribuição de dados georreferenciados em mapas.

“A razão fundamental que possibilitou o desenvolvimento desses estudos foi a crescente habilidade da informática e dos programas computacionais, que aumentou a velocidade de processamento e a capacidade de manejar grandes quantidades de informação. Esse avanço possibilitou que se começasse a pensar que a complexidade, em si mesma, possui as suas próprias leis, que podem ser simples e coerentes (CHRISTOFOLETTI, 1999, p.3)”

Os SIGs podem ter aplicações sócio-econômicas, com o objetivo de planejamento, tais como uso da terra, ocupação humana e atividades econômicas, como indústrias. Existem as aplicações ambientais, verificando-se clima, gerenciamento florestal, poluição e o uso dos recursos naturais. E ainda as aplicações de gerenciamento, que envolvem planejamento de tráfego urbano, planejamento e controle de obras públicas e planejamento da defesa civil (CÂMARA et al., 1996).

Em trabalho realizado por Lima & Souza (2007) foram analisados os elementos do meio natural no Parque Municipal das Mangabeiras, Belo Horizonte-MG, com objetivo de aplicar e avaliar a tecnologia do geoprocessamento na identificação de áreas com susceptibilidade a movimento de massas, servindo de apoio para tomada de decisão no planejamento ambiental. Para tanto foram atribuídas notas aos parâmetros que condicionam os movimentos de massas por meio de uma árvore de decisão. Com a reclassificação dos mapas por notas, foi adotado um algoritmo de média ponderada para geração de um mapa síntese. O mapa síntese proporcionou a identificação de áreas com maior ou menor tendência ao escorregamento em diferentes classes (nula, baixa, média e alta).

Outro trabalho desenvolvido na mesma temática, foi realizado por Bispo et al. (2009), para avaliar a suscetibilidade aos movimentos de massa na região de São Sebastião-SP. Utiliza técnicas de geoprocessamento, como os métodos de inferência: Booleano e Fuzzy Gama. Para a geração dos modelos foram utilizadas as variáveis: geomorfologia, geologia, pedologia e uso e cobertura do solo, e as variáveis de declividade, curvatura vertical e curvatura

horizontal, obtidas a partir do TOPODATA (2008). As variáveis foram classificadas em cinco classes de suscetibilidade: Muito Alta Suscetibilidade (ma); Alta Suscetibilidade (a); Média Suscetibilidade (m); Baixa Suscetibilidade (b); e Muito Baixa Suscetibilidade (mb). Como resultado o método Fuzzy Gama foi mais satisfatório, pois a transformação dos valores qualitativos para valores numéricos tornou possível o tratamento das incertezas inerentes a fenômenos naturais.

4.8 Mapeamento de suscetibilidade, de risco e de perigo

Os desastres naturais podem afetar os municípios colocando-os em situação de emergência ou estado de calamidade pública. Segundo Castro (1999) situação de emergência é o reconhecimento legal pelo poder público de situação anormal provocada por desastre, causando danos humanos, materiais e ambientais menos importantes, os quais são mais facilmente suportáveis e superáveis pelas comunidades afetadas. Por sua vez, estado de calamidade pública é o reconhecimento legal pelo poder público de situação anormal provocada por desastre, causando danos humanos, materiais e ambientais muito importantes, muitas vezes de caráter irreversível ou de recuperação muito difícil, os quais são muito dificilmente suportáveis e superáveis pelas comunidades afetadas.

Atualmente, devido à “cultura forense” existente no Brasil e em diversos países, pouco se tem feito na busca pela prevenção, ao invés da ação pós-evento. O mapa de suscetibilidade a movimentos de massa vem de encontro a elaboração de medidas de prevenção e planejamento do uso e ocupação, pois indica a potencialidade de ocorrência de processos naturais e induzidos, expressando a suscetibilidade segundo classes de probabilidade de ocorrência. Sua característica principal consiste numa classificação de unidades de paisagem em graus de suscetibilidade. É uma importante ferramenta de prevenção, podendo ser utilizada pelos órgãos gestores em ações pré-eventos.

Saito (2004) define suscetibilidade como uma “característica inerente do meio, representando a fragilidade do ambiente em relação aos escorregamentos e quedas de blocos”.

A metodologia proposta pelo IPT (2007) estabelece dois passos importantes no mapeamento: primeiramente o **zoneamento** que compreende a identificação dos processos destrutivos atuantes, a avaliação do risco de ocorrência de acidentes e a delimitação e distribuição espacial de setores homogêneos em relação ao grau de probabilidade de ocorrência do processo ou mesmo ocorrência de risco, estabelecendo tantas classes quantas necessárias. Permite individualizar e caracterizar cada um dos setores, fornecendo informações sobre aos diversos níveis de suscetibilidade ao qual estão submetidos.

E em segundo o **cadastramento de risco**, que fornece informações específicas, como a quantidade de moradias localizadas nos setores de risco, além de identificar aquelas passíveis de uma prévia remoção, constituindo-se em subsídio para ações que necessitem de uma rápida intervenção dos órgãos responsáveis. Possibilita o detalhamento das situações caso a caso ou, às vezes, por agrupamentos de mesmo grau de probabilidade de ocorrência do processo ou risco.

Zaidan & Fernandes (2009) aplicaram metodologia para a determinação de áreas susceptíveis a escorregamentos na bacia de drenagem urbana do Córrego Independência na escala 1:2.000, em Juiz de Fora-MG. Utilizaram o Modelo SHALSTAB, que consiste em um modelo determinístico baseado em processos físicos naturais e que leva em consideração os fatores topográficos no processo de modelagem e previsão da susceptibilidade dessas áreas com o auxílio de softwares de Geoprocessamento.

Santos et al. (2008) no trabalho intitulado *Cartografia de Susceptibilidade de Movimentos de Massa em Canelas-Penafiel* criaram mapas de topografia, litologia, ocupação do solo, e carta de espessura do solo. A partir desses mapas foram derivados mapas de declividades e de concavidade de vertentes, analisados os fatores mais suscetíveis à ocorrência de movimentos de massa. Foram ponderados valores nas sobreposições, para a carta de concavidades foi atribuído 10%, para o uso e ocupação do solo, 15 %, para a espessura dos solos foram atribuídos 20%, para o mapa litológico, 20%, e para o mapa de declividades, foi atribuído 35%. Baseado

nessa sobreposição foi elaborado um mapa de susceptibilidade com 3 classes: pouco suscetível, suscetível e muito suscetível.

Faria et al. (2009) comparam duas metodologias para o mapeamento de áreas de risco em Juiz de Fora - MG, a primeira utiliza um modelo matemático determinístico (modelo SHALSTAB), e a segunda elaborada a partir de um mapeamento direto em campo. Destacam que a análise a partir do modelo (mapeamento indireto) permitiu constatar que o mesmo deve se basear em dados concretos, pois a falta dessas informações de entrada podem comprometer os dados gerados. Entretanto, no modelo de mapeamento direto foram observadas algumas falhas, tais como a homogeneização dos dados ao longo da bacia (espessura do solo, densidade global do solo saturado, etc.), e a indefinição dos dados da coesão do solo. Concluem que monitoramentos em campo e análises de cicatrizes antigas devem ser usados para validar esses resultados, diminuindo assim a probabilidade de erro.

Reckziegel (2012) com base em Julião et al (2009) e Sobreira (2001), define a avaliação da suscetibilidade como uma característica inerente do meio, que representa a fragilidade do ambiente em relação aos movimentos de massa, e que é analisada através dos fatores de predisposição para a ocorrência. Utiliza também o termo perigo baseado em, Castro (2000), Matedi e Butzke (2001), Zuquette e Pejon (2004), caracterizado como o potencial de interação entre os seres humanos e um evento natural extremo. Sendo que o mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos de massa e de perigo é um procedimento essencial, para, associado com a vulnerabilidade da população, determinar as áreas de risco de movimentos de massa.

Nessa abordagem o mapa de risco preponderará a avaliação de dano potencial à ocupação, expresso segundo diferentes graus de risco. Os graus de risco são resultantes da conjunção da probabilidade de ocorrência de movimentos de massa, e das conseqüências sociais e econômicas decorrentes, sua característica principal é de identificar a vulnerabilidade dos elementos sob risco.

5. METODOLOGIA

Para atender aos objetivos propostos nessa pesquisa a metodologia empregada foi a seguinte:

a) Revisão bibliográfica, baseada em temas relacionados com geomorfologia, SIG e modelagem, principalmente no que diz respeito aos modelados do relevo, e a sua relação com movimentos de massa. Também se buscou analisar dados pré-existentes sobre as ocorrências de movimentos de massa, em jornais, sites de notícias, e site da defesa civil, no entanto poucos dados foram encontrados, o site da defesa civil estadual apresenta confusão nos conceitos utilizados, sendo que muitas vezes, os deslizamentos são denominados por enxurrada, e outras vezes nem são mencionados. Por isso foram pesquisadas todas as ocorrências de desastres naturais ocorridas nos municípios da bacia do Paranhana, desde que a Defesa Civil estadual iniciou seu cadastro, foram pesquisados dados do período entre julho de 2003 a março de 2012. As prefeituras e Defesa Civil dos municípios da área de estudo também não possuem um banco de dados organizado sobre as ocorrências, por isso muitas informações foram levantadas com os moradores das proximidades de áreas de ocorrências.

Também foram utilizados dados do IBGE para identificar os limites municipais, no entanto a área delimitada para o trabalho, foi a bacia do Paranhana, por isso em algumas partes dos mapas existem diferenças nos limites, devido à diferenças nos mapeamentos.

b) Aquisição e georreferenciamento das imagens de satélite do sensor Landsat/TM, da data de 28/09/2009 obtidas a partir da base de dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE - no sitio www.inpe.br. Também foi utilizada uma imagem do satélite *IKONOS II* de novembro de 2011, utilizada pelo CPRM e fornecida pela prefeitura municipal de Igrejinha. O georeferenciamento foi executado a partir de pontos obtidos em cartas topográficas na escala de 1:50.000. Foi utilizado o datum WGS84, e coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator), para não haver erro

de projeção com os dados baixados do IBGE, e os dados fornecidos pelo Receptor GPS.

Também foram utilizadas imagens de radar do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), modelo de elevação com resolução espacial de 90 m, disponibilizados pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>.

Para o processamento das imagens digitais e a geração de uma base digital foi utilizado o software *ArcMap 9.3*;

c) Realização de expedições de campo. Foram obtidos dados referentes à localização de cicatrizes de movimentos de massa, ocasionadas pelo deflagramento dos movimentos de massa. Para cada ponto identificado foram coletadas suas coordenadas UTM através de um receptor GPS de precisão Leica SR-20. Foram realizadas expedições de campo nos dias 21 de setembro de 2010; 16 e 17 de abril de 2011; 09 e 10 de julho de 2011 e 17 de novembro de 2011. Em cada ponto foi realizado um registro fotográfico das ocorrências.

Os trabalhos de campo tiveram o acompanhamento da Defesa Civil ou do corpo de bombeiros dos municípios pertencentes à bacia do Paranhana. Cabe destacar que a quase totalidade dos pontos levantados se referem a áreas de risco, localizados nas áreas urbanas dos municípios, e poucas correspondem à sem intervenção antrópica, a lista completa dos pontos com suas coordenadas UTM de localização encontram-se nos anexos.

d) Correção dos pontos levantados em campo com GPS. Foi utilizado como referência a estação de Porto Alegre-RS, e dados obtidos do sítio do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE - www.ibge.gov.br. As coordenadas obtidas em campo foram corrigidas com base nas coordenadas da estação-base, utilizando o programa *GISdataPro*, o sistema de coordenadas utilizado pelo receptor GPS possui uma projeção UTM, na zona 22 hemisfério sul, elipsóide SAD 69, e transformação WGS 84;

e) Caracterização da área com base em dados morfométricos. Inicialmente a partir de imagem do radar SRTM foram extraídas curvas de

nível como base para geração de mapas temáticos. Para tanto foi utilizada a ferramenta *Spatial Analyst* do software *ArcMap 9.3*. Foram confeccionados os seguintes mapas:

e1) Unidades Geomorfológicas: utilizando como base a nomenclatura do IBGE, foram identificadas 5 unidades geomorfológicas: Planície Aluvio-Coluvionar, Planalto dos Campos Gerais, Serra Geral, Patamares da Serra Geral e Depressão do Rio Jacuí. Segundo IBGE (2009) “as unidades geomorfológicas são definidas como um arranjo de formas altimétrica e fisionomicamente semelhantes em seus diversos tipos de modelados. A geomorfogênese e a similitude de formas podem ser explicadas por fatores paleoclimáticos e por condicionantes litológicos e estruturais. Cada unidade geomorfológica evidencia seus processos originários, formações superficiais e tipos de modelados diferenciados dos demais. O comportamento da drenagem, seus padrões e anomalias são tomados como referencial à medida que revelam as relações entre os ambientes climáticos atuais ou passados e as condicionantes litológicas ou tectônicas”.

e2) Tipos de Modelados Geomorfológicos: segundo o IBGE (2009) “Um polígono de modelado abrange um padrão de formas de relevo que apresentam definição geométrica similar em função de uma gênese comum e dos processos morfogenéticos atuantes, resultando na recorrência dos materiais correlativos superficiais”.

Baseado nas imagens de perfil vertical (côncavas e convexas) e de perfil horizontal (divergentes e convergentes) foram mapeadas 15 feições do terreno que formaram um mapa síntese dos modelados geomorfológicos. Foram identificados 10 modelados geomorfológicos classificados da seguinte forma: Colinas e Morros Baixos, Planície Fluvial, Terraços Fluviais, Terraços Coluvionares, Topos de Morros Estreitos ou Alongados, Topos de Morros Convexos, Topos de Morros Tabulares, Vertentes Convergentes, Vertentes Planares e Vertentes Divergentes.

Foi utilizada como base a metodologia proposta por Ross (1990/1992) que favorece e complementa a aplicação da abordagem teórico-metodológica de Ab'Saber (1969).

Ross (1990/1992) define que o relevo pode ser cartografado em seis táxons, o que possibilita descrever e explicar a existência dos mais variados tamanhos e gêneses de formas, nas diversas escalas de abordagem. Assim sendo, elaborou uma estrutura na qual define que os seis táxons do relevo podem ser representados por: morfoestruturas, morfoesculturas, tipos ou padrões fisionômicos das formas. Ross (1992) propõe a classificação taxonômica do relevo que apóia-se fundamentalmente no aspecto fisionômico das diferentes formas e tamanhos de relevo, baseado na gênese e na idade dessas formas, tendo em vista o significado morfogenético e as influências estruturais e esculturais no modelado.

Para Silva (2009) apud Ross (1992) a classificação em táxons se dá da seguinte maneira:

1º táxon: Unidades Morfoestruturais. É a maior forma de relevo, sua idade e história genética são mais antigas que as Unidades Morfoesculturais esculpidas em seu interior. Exemplo: Bacia Sedimentar do Paraná;

2º táxon: Unidades Morfoesculturais. São de dimensões inferiores às das Unidades Morfoestruturais, e com idade bem menor. Exemplos: Planalto Paranaense, Depressão Periférica paulista;

3º táxon: Unidades Morfológicas ou de Padrões de Formas Semelhantes. Estas retratam um determinado aspecto fisionômico decorrente das influências dos processos erosivos mais recentes e posteriores àqueles que esculpiram os planaltos e depressões. Exemplos: Padrão em morros, Padrão em colinas;

4º táxon: Tipos de formas de relevo. Referem-se a cada uma das formas de relevo encontradas nas Unidades Morfológicas ou de Padrões de Formas Semelhantes. Exemplo: Em um Padrão em morros, cada morro que faz parte desse padrão possui características que o diferencia dos demais;

5º táxon: Tipos de Vertentes. Representa os tipos de vertentes contidas em cada forma de relevo, sendo assim, de gênese e idade mais jovens. Exemplos: vertentes côncavas, convexas, aguçadas, etc.;

6º táxon: Formas de processos atuais. Refere-se às formas de relevo bem menores e muito mais recentes, que surgem ao longo das vertentes por processos geomórficos e até mesmo por ação antrópica. Exemplos: sulcos, ravinas, voçorocas.

e3) Mapa de Elevação: para a geração do mapa de elevação ou hipsométrico, foi criado um MDE (Modelo Digital de Elevação) a partir da imagem SRTM. A imagem foi processada no formato raster a partir do módulo *ArcMap* do *ArcGis 9.3*, na extensão *Spatial Analyst*. Para o mapeamento foram estabelecidas 4 classes altimétricas, a variação altimétrica da bacia do rio Paranhana se dá entre 16m e 930m. Foram as seguintes classes: 1ª: 16 - 200 m; 2ª: 200 - 400 m; 3ª: 400 - 600 m; 4ª: 600 - 930 m.

e4) Mapa de Declividades: o mapa de declividades tem por objetivo demonstrar a inclinação de uma área em relação a um eixo horizontal. Utilizando dados SRTM e a partir do módulo *ArcMap* do *ArcGis 9.3*, na extensão *Spatial Analyst*, foi elaborado o mapa de declividades. O mapa foi dividido em 5 classes, modificadas a partir da classificação proposta por De Biasi (1996) conforme o Quadro 1:

Quadro 1- Classes de declividade, adaptada da classificação de De Biasi (1996).

Classes de declividade	Considerações
0 a 12%	Limite urbano, industrial e de máximo emprego na mecanização da agricultura
12 a 20%	Terras que apresentam moderada suscetibilidade à erosão.
20 a 30%	Limite máximo para urbanização sem restrições definido por Legislação Federal (Lei 667/79)
30 a 47%	Limite máximo de corte raso, a partir do qual a exploração só será permitida se sustentada por cobertura de floresta (Código Florestal)
➤ 47%	Proibida derrubada de florestas, área de preservação permanente.

Fonte: modificado de De Biasi (1996)

Também foi realizada uma interpretação, a partir de uma análise visual das curvas de nível, para identificar as áreas de alta declividade onde ocorre um rompimento brusco da rampa de declividade, para identificação da linha de escarpa.

Para esse mapeamento foram identificadas as curvas de nível que estão mais próximas, identificando que o terreno possui alta declividade, enquanto que as curvas de nível mais distantes indicam uma região mais plana (BAZZAN, 2006; NEVES, et al, 2009; SEMA-MT, 2009).

f) Cruzamento dos pontos de ocorrência de movimentos de massa, com dados obtidos a partir do SRTM, (unidades geomorfológicas, modelados geomorfológicos e declividade). Esses cruzamentos objetivaram identificar a existência de padrões nas ocorrências de movimentos de massa, foi utilizada uma média ponderada, executada na ferramenta Raster Calculator, do ArcMap.

g) Elaboração do mapa de suscetibilidade a movimentos de massa. A definição de suscetibilidade tomou como base os padrões encontrados nas áreas com ocorrência de movimento de massa. Foi atribuído um peso para cada variável de acordo com seu padrão de ocorrência e sua importância na área de estudo.

Entre as três variáveis as que apresentaram maior relação com os pontos de deslizamentos foram: as unidades geomorfológicas, foi atribuído um peso menor (peso 1); aos modelados geomorfológicos, foi atribuído um peso intermediário, (peso 2); e a declividade, que apresentou a maior influência, foi atribuído maior peso (peso 3), principalmente pela importância da linha de escarpa na ocorrência dos deslizamentos.

As áreas que não apresentaram relação de nenhuma das 3 variáveis em seu pixel, receberam valor 1, o que corresponde à baixa suscetibilidade, como, por exemplo, as áreas totalmente planas e sem declividade.

A partir da ferramenta raster calculator, cada pixel possui um valor atribuído de acordo com sua recorrência, e assim no mapa final de suscetibilidade o resultado da soma gera três classes de suscetibilidade: alta suscetibilidade = valor 3 (cor vermelha); média suscetibilidade = valor 2 (cor verde) ; baixa suscetibilidade= valor 1 (cor amarela).

Metodologia semelhante foi utilizada por Soares et al. (2002), segundo os autores, é possível investigar a suscetibilidade a movimentos de massa por meio de variáveis que apresentam relação de dependência com a ocorrência

do evento. Os pesos utilizados pelos autores para essas variáveis foram de 1 (se presentes); -1 (se ausentes) e 0 (se incertas).

Vieira (2008) gerou um mapa de suscetibilidade com base nas formações rochosas e sua resistência. Para tanto foram atribuídos pesos, no qual os basaltos da Formação Serra Geral receberam o peso 1 (rochas mais resistente), a Formação Botucatu peso 3 e o setor da Formação Rio do Rasto peso 5 (menos resistente).

Saito (2004) por sua vez, confeccionou o mapa de suscetibilidade, aplicando pesos diferenciados em função da sua importância para a ocorrência de escorregamentos e quedas de blocos, onde foram estabelecidos pesos para as variáveis e para cada uma das classes.

h) Para o mapeamento da área urbana foi utilizada uma imagem do satélite *IKONOS II* utilizada pela CPRM e fornecida pela prefeitura municipal de Igrejinha, no entanto as entidades não possuíam dados precisos quanto à imagem, apenas que sua aquisição foi de novembro de 2011 e que sua resolução está entre 1 e 4 metros, foi utilizada também uma imagem do satélite Landsat 5 do sensor TM, de 28/09/2009 nas bandas 3, 4 e 5 com uma resolução espacial de 30 metros. A classificação visual do uso do solo foi realizada no software ArcMap, através de uma classificação supervisionada (LIMA, 2011).

i) Elaboração do mapeamento das áreas urbanas suscetíveis a movimentos de massa. Para a definição de áreas de perigo foram cruzadas as bases de áreas identificadas com uso de solo urbano com o mapa de áreas suscetíveis a movimentos de massa. O mapeamento das áreas de perigo foi gerado a partir da ferramenta *INTERSECT* do programa ArcMap. Sobre as manchas urbanas foram identificados 3 graus de perigo, baseado na suscetibilidade, alto, médio e baixo.

6. RESULTADOS

Avaliar a dinâmica e os padrões dos ambientes associados a movimento de massa é de extrema importância do ponto de vista da construção de um conhecimento científico que possa contribuir para o desenvolvimento, o planejamento e a gestão dos seus impactos ambientais e sociais por parte de órgãos estaduais e municipais, viabilizando o estabelecimento de medidas preventivas de redução dos danos.

A espacialização desses processos a partir de produtos cartográficos tem grande importância para os municípios envolvidos, pois trazem subsídios para a gestão ambiental, e o planejamento adequado da expansão urbana do município, evitando assim a continuação de mais problemas ambientais e sociais.

6.1 Ocorrência de desastres naturais na bacia hidrográfica do rio Paranhana

Os municípios localizados na bacia do Paranhana são frequentemente assolados por desastres naturais. De acordo com os dados da Defesa Civil - RS, entre julho de 2003 e março de 2012 esses municípios tiveram 37 ocorrências de desastres naturais, caracterizadas como: vendaval, tornado, enchente, inundação, alagamento, enxurrada e granizo. O Quadro 2 apresenta os municípios atingidos e a quantidade de ocorrências atendidas pela Defesa Civil nesse período.

A análise desses dados, entretanto, é dificultada já na sua coleta, devido à falta de clareza em relação à nomenclatura e à tipologia utilizadas para descrever os eventos ocorridos, e a forma de organização dos dados por parte da Defesa Civil estadual. Muitas vezes os movimentos de massa, são classificados como enxurrada, e outras vezes não são classificados.

Quadro 2 - Ocorrência de desastres naturais, entre julho/2003 e março/2012, vale do Paranhana, bacia do rio dos Sinos - RS

Municípios	Nº de ocorrências
Taquara	12
Parobé	9
São Francisco de Paula	6
Igrejinha	5
Três Coroas	4
Canela	2
Gramado	1

Fonte: Defesa Civil-RS, www.defesacivil.rs.gov.br.

Outro grande problema na fase de levantamento dos dados, é que nas informações sobre os eventos não há a localização precisa dos pontos de ocorrência dos desastres naturais. A falta de georreferenciamento dessas informações dificulta a realização de mapeamentos e zoneamentos desses eventos e, portanto, o entendimento de sua dinâmica.

Essa limitação implicou na necessidade de realizar levantamentos de campo, com a utilização de GPS, dos pontos de ocorrência de movimentos de massa. Como consequência, provavelmente, muitos pontos com ocorrência de movimento de massa não foram levantados/identificados por não terem representado risco a população e estarem dispersos ao longo do vale do Paranhana.

6.2 Classificação e caracterização de movimentos de massa na bacia do Paranhana

Nas observações e coleta de dados em campo nas áreas de ocorrência de movimento de massa, é perceptível a fragilidade geomorfológica das áreas de ocupação humana. Embora os municípios tenham populações relativamente pequenas, durante a ocorrência de eventos pluviométricos extremos, uma grande quantidade de famílias é atingida em função da forma inadequada dessas ocupações.

Sujeitos à especulação imobiliária, os moradores de menor poder aquisitivo acabam ocupando áreas de inundação, podendo ser atingidas pelas

cheias do Paranhana, ou então, ocupando áreas de alta declividade e instabilidade geológica e geomorfológica, sujeitas a movimentos de massa.

Segundo Reckziegel et al. (2005) os acidentes e desastres normalmente afetam as parcelas menos favorecidas da população que, pela falta de escolhas vêm-se obrigadas a se estabelecer em áreas ambientalmente frágeis: planícies de inundação, áreas deprimidas ou encostas íngremes.

A pressão imobiliária sobre os órgãos municipais também faz com que diversas áreas consideradas de proteção ambiental ou sujeitas a risco para a população, venham a ser utilizadas para a instalação de condomínios. A ocupação dessas áreas acaba contribuindo para a retirada da vegetação e do solo que exercem proteção e mantém sua estabilidade, e o conseqüente corte das encostas para novas construções.

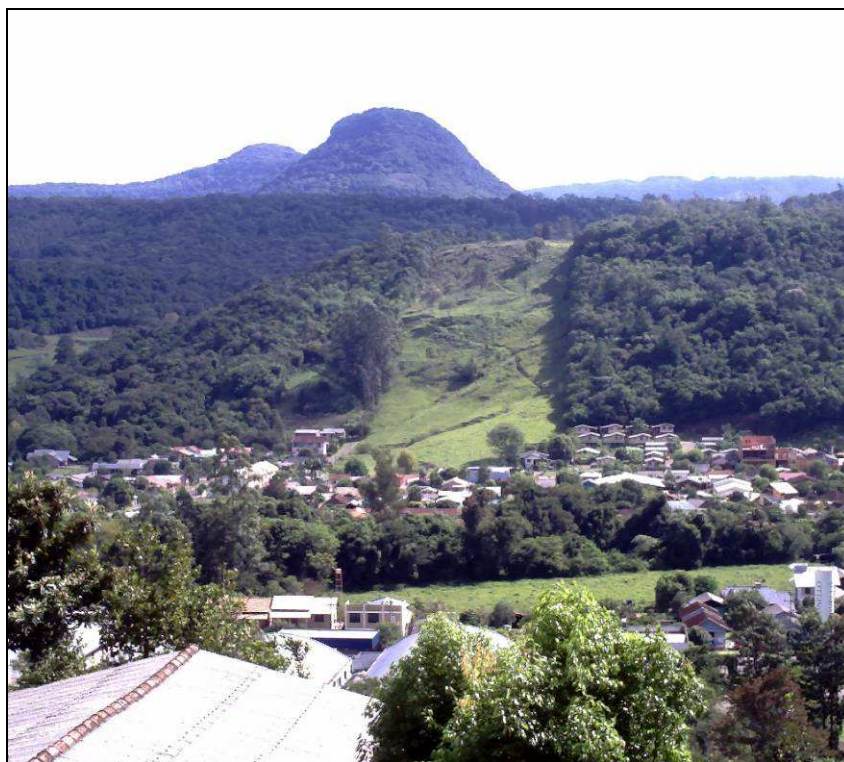


Figura 4 - Área de alta declividade com desmatamento para construção de condomínio no município de Três Coroas - RS.

Fonte: Trabalho de campo realizado em 17/04/2011.

Foram identificadas, nesse estudo, 21 ocorrências de movimentos de massa nos municípios do vale do Paranhana. Como dito antes, o número e as

características dos pontos levantados pode ter uma limitação, pois a orientação e o acompanhamento por parte da Defesa Civil e do Corpo de Bombeiros privilegiou as áreas com ocupação urbana, ou seja, áreas representadas como de risco à população.

Em áreas de mata densa, alta declividade e de difícil acesso por falta de vias não foram coletados pontos, até mesmo por falta de conhecimento da Defesa Civil e do Corpo de Bombeiros de áreas de ocorrência desses eventos nessas localizações. Dessa forma não se tem dados suficientes sobre essas áreas podendo, portanto, ser bem maior o número de ocorrências de deslizamentos.

No levantamento dos pontos realizado nesse estudo observou-se a predominância de quatro tipos principais de ocorrência: rastejo, corrida de massa, quedas de blocos e deslizamentos.

Município de Três Coroas

No município de Três Coroas foram registradas 07 ocorrências, com as seguintes características:

- 1) 01 ocorrência de deslizamento circular. Esse tipo de deslizamento se caracteriza por possuir uma superfície de ruptura curva (Figura 5);
- 2) 05 ocorrências de deslizamento planar. Essas ocorrências se caracterizam por rampas de comprimentos maiores do que suas larguras;
- 3) 01 ocorrência de corrida de massa. A corrida de massa se caracteriza por uma linha de drenagem bem definida e composta por três segmentos de deslizamentos.



Figura 5 - Movimento de massa do tipo circular, município de Três Coroas - RS.

Fonte: Trabalho de campo realizado em 17/04/2011.

Segundo o Corpo de Bombeiros voluntários de Três Coroas, esses deslizamentos ocorreram nos dias 10 de janeiro e 26 de setembro de 2010. Por não haver registro em uma base de dados, nem informações no site da Defesa Civil sobre essas datas, não se sabe com certeza, quais são as ocorrências que correspondem a essas datas.

Em todas as áreas de deslizamento a ocupação humana é significativa. A partir da ação antrópica ocorrem cortes no terreno em áreas de alta declividade retirando a sustentação do solo, aliado ao solo pouco espesso sobre um substrato rochoso. Nessas áreas normalmente se desloca material sob grande velocidade, quando da ocorrência de episódios de eventos pluviométricos extremos.

De acordo com dados do INMET (2011) a estação automática de Canela-RS registrou um total de 34 mm de precipitação em um intervalo de 10 horas, entre as 11 e as 21 horas do dia 10 de janeiro de 2010. Deve-se considerar, entretanto, que a estação de Canela está localizada a aproximadamente 17 km de distância do município de Três Coroas, e esses valores de precipitação podem ter sido mais elevados no município de Três Coroas, o qual ainda não possui registros de dados de precipitação.

Município de Igrejinha

No município de Igrejinha ocorreram 08 deslizamentos.

1) 01 ocorrência localizada nos fundos da escola Garibaldi, no dia 10 de janeiro de 2010. Nesse evento três casas e uma escola foram danificadas, sem ocorrência de vítimas. Destaca-se a ocorrência de processo de rastejo, devido a presença de árvores inclinadas no local.

Segundo dados do levantamento realizado pela CPRM (Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais) a área possui aproximadamente 25 imóveis e 100 pessoas em risco. Devido as obras de contenção realizadas pela prefeitura, que são um muro de contenção e o monitoramento, a área é caracterizada apenas como de risco médio a novos deslizamentos. Percebe-se no local que com a ocupação humana ocorrem cortes no solo, há um substrato rochoso de basalto e alta declividade (Figura 6).



Figura 6 - Deslizamento, município de Igrejinha - RS.

Fonte: Trabalho de campo realizado em 09/07/2011.

2) 01 ocorrência de deslizamento no dia 23 de abril de 2011 (Figura 7), destruiu seis casas, causando sete mortes. Nessa área o substrato

rochoso é caracterizado por rochas areníticas. Verifica-se também a alta declividade e a retirada da vegetação, deixando o solo exposto e suscetível a novos escorregamentos, caso ocorram novos eventos pluviométricos extremos. Observa-se a presença de árvores inclinadas, degraus de abatimento e processos de rastejo no topo do escorregamento.

Segundo dados do INMET (2011), a estação automática do município de Canela-RS indicou um total de 73 mm de precipitação em um intervalo de 17 horas, entre as 21 horas do dia 22, e as 14 horas do dia 23 de abril.

O município de Igrejinha está localizado a cerca de 22 km de Canela, mas os valores de precipitação em Igrejinha podem ter sido bem maiores, já que a estação automática da CPRM, localizada em Taquara, indicou um acumulado total de 106.2 mm diários nessa data. A estação de Taquara está localizada a cerca de 9 km da área de ocorrência do deslizamento em Igrejinha, e representa melhor os reais índices de precipitação daquele dia.

De acordo com a CPRM, a área possui 6 imóveis e 24 pessoas em risco, sendo considerada uma área de alto risco a novos deslizamentos. Na base do escorregamento existem 3 casas interditadas na rua Alziro Bischoff.



Figura 7 - Deslizamento no município de Igrejinha - RS, ocorrido no dia 23 de abril de 2011.
Fonte: Paulo Nunes/Correio do Povo

3) Outro ponto de alto risco no município de Igrejinha está localizado no bairro Sabreira I, numa antiga área de mineração da prefeitura,

ocupada com casas irregulares. A montante da área verifica-se degraus de abatimento e árvores inclinadas, além da presença de blocos de rocha de grande porte bem próximas das casas, o que indica a ocorrência de quedas de blocos no local. De acordo com dados da CPRM, 30 imóveis e 120 pessoas estão em risco na área, e como sugestões de medidas estruturais têm-se a retirada das residências precárias do local e a instalação de telas para a contenção de quedas de blocos.



Figuras 8 e 9 - Blocos de rocha decorrente de queda próximo de residência, e residências próximas de antiga área de mineração da prefeitura, Igrejinha - RS.

Fonte: CPRM e Trabalho de campo (17/11/2011).

Ainda no município de Igrejinha, a rua da Saudade localizada no bairro Bom Pastor é outra área considerada de risco. Segundo a CPRM, 14 imóveis e 56 pessoas estão em risco. Percebem-se no local algumas pequenas cicatrizes de escorregamentos. Além de um solo pouco espesso com sinais de forte erosão superficial, árvores inclinadas e presença de trincas no solo, diversas casas estão em áreas com declividade superior a 45°, em áreas consideradas como Áreas de Proteção Ambiental.

Município de Taquara

No município de Taquara foram levantadas 02 ocorrências de áreas caracterizadas como sendo de risco.

1) Uma ocorrência localizada no morro da Cruz, com densa ocupação de população de baixa renda, em área de alta declividade. Nessa área ainda não há registro de ocorrência de deslizamento;

2) A segunda ocorrência também é caracterizada como área de risco, devido a um aterro realizado por uma empresa metalúrgica. Esse aterro está bem acima do nível dos outros lotes da rua, colocando em risco a população que reside no entorno dessa indústria. No local já ocorreram pequenos deslizamentos, devido ao peso do aterro, pelo solo arenoso pouco compactado, por falta de muros de contenção e por haver ocupação no seu entorno. Essa ocorrência está localizada fora da área da bacia do Paranhana, por isso não foi localizada no mapa.

Município de Parobé

No município de Parobé foram registradas 08 ocorrências, com as seguintes características:

1) 05 ocorrências de deslizamentos do tipo planar. Essas áreas são caracterizadas pela alta declividade e solo antropizado, em sua maioria formada por rochas basálticas. Há vários registros de cortes no solo devido a ação antrópica. Além da retirada de vegetação, percebe-se em todas essas áreas a densa ocupação, em alguns casos, com residências bem próximas aos cortes feitos no solo, com risco de desprendimento de blocos (Figura 10);



Figura 10 - Movimento de massa com risco de queda de blocos sobre residências, município de Parobé - RS.

Fonte: Trabalho de campo realizado em 10/07/2011.

2) 01 ocorrência do tipo rastejo. Essa área está localizada na área urbana de Parobé, e está associada à alta declividade da área e ao escoamento subsuperficial. Esse tipo de movimento é caracterizado por ter uma velocidade baixa (da ordem de cm/ano). Na mesma área ocorre inclusive risco de desprendimento de um grande bloco de rocha que pode atingir diversas residências presentes no loteamento;

3) 02 áreas de risco eminente. Nessas áreas ainda não houve registro de deslizamento recente, percebe-se a ocorrência de processos de rastejo pela presença de árvores inclinadas e degraus de abatimento logo abaixo de uma das residências. As residências estão localizadas em áreas de declividade superior a 30°, e praticamente toda a vegetação já foi suprimida.

Outros três pontos no município de Parobé, percorridos nos trabalhos de campo, que são áreas de risco, mas aonde ainda não houve ocorrências de deslizamento, foram suprimidos do mapeamento. Esses pontos estão localizados fora da bacia do rio Paranhana, e os limites estabelecidos para

esse trabalho foram os da bacia, buscando manter as mesmas características para toda área.

No mapa da Figura 11 estão localizados os pontos coletados em campo das ocorrências de movimentos de massa, e que ocorreram no período entre os anos de 2010 e 2011. Esse período corresponde aos pontos que a população e o Corpo de Bombeiros têm conhecimento, considerando o fato de que não existe um banco de dados histórico de ocorrências na bacia do Paranhana.

Ao analisar a distribuição dos pontos de ocorrência, observa-se que os eventos localizados em Parobé estão mais próximos do que nos outros municípios. Essa característica está relacionada à densidade da ocupação e ao tamanho do município. Essas áreas se localizam predominantemente em uma área de expansão do município, em áreas de alta declividade e com ocorrência de solos derivados principalmente de formações arenosas, em áreas mais suscetíveis aos processos erosivos.

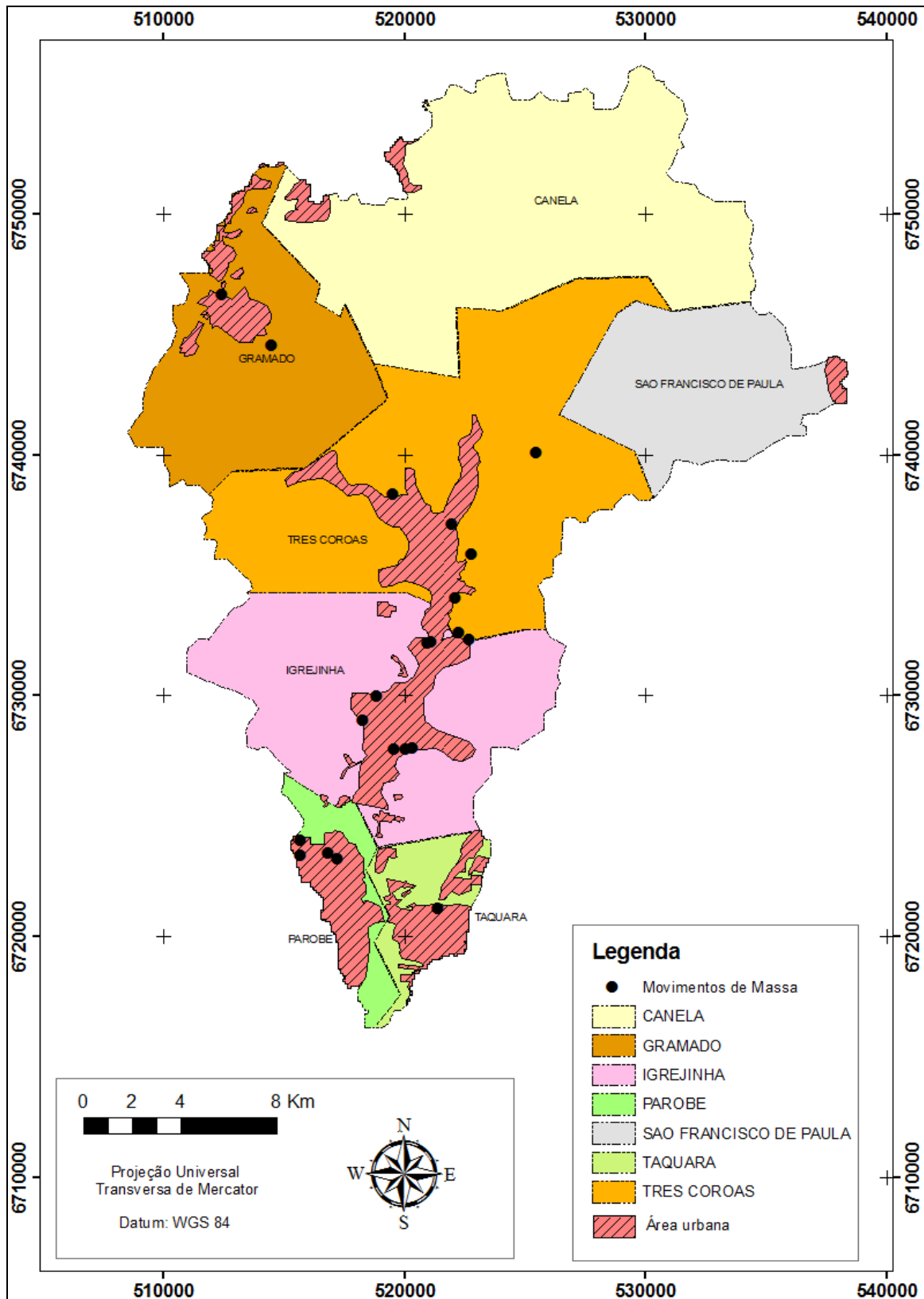


Figura 11 - Mapa de pontos de ocorrências de movimentos de massa no período entre os anos de 2010 e 2011, nos municípios da bacia do rio Paranhana - RS

Em muitas outras áreas do país é comum encontrar situações semelhantes, como por exemplo, no estudo de Cavalcanti et al. (2010) na região de Lagoa Encantada, periferia de Recife-PE. Nessa área “o crescimento urbano em áreas topográficas inadequadas, com a ocupação espontânea, ocasionou desequilíbrio no sistema das encostas, aliados a isto, o desmatamento, entre outros aceleram os processos erosivos, e conseqüentemente os movimentos de massa na localidade”.

De modo geral, grande parte do referencial teórico analisado nesse estudo destaca que as vertentes com perfis côncavos favorecem a convergência dos fluxos d'água. Já as vertentes convexas atuam de maneira contrária as côncavas, ou seja, favorecem a dissipação d'água na encosta por meio do fluxo difuso, e que as vertentes retilíneas têm um padrão reto que contribui para que a água flua de maneira laminar (AUGUSTO FILHO, 1988; FERNANDES, 2001; MIKOSIK et al., 2010)

Nummer (2003), em estudo na região da Rota do Sol/RS 486, Itati - RS relaciona o tipo de vertente com o tipo de movimento de massa. Segundo a autora, nas vertentes côncavas, o fluxo laminar tende a se concentrar, sendo comuns os movimentos de massa do tipo corrida de detritos. Nas vertentes convexas, são comuns os escorregamentos planares, facilitados pelas estruturas de resfriamento das rochas ocorridas. Já nas vertentes retilíneas ocorrem movimentos de massa do tipo quedas, que vão fornecer material para os depósitos de talus, encontrados nas quebras de relevo.

Entretanto, no estudo de Kozciak (2005) observou-se que nas vertentes da bacia do rio Marumbi na Serra do Mar paranaense, os índices de segurança referente a estabilidade das vertentes foram menores naquelas com característica convexa, em áreas de baixa e média vertente devido a espessura do solo.

Molinari (2005) estudou duas ocorrências de movimentos de massa na fazenda Caipuru em Presidente Figueiredo no Amazonas. A primeira localiza-se sobre uma encosta convexa de declividade média de 30°, caracterizada pela presença de uma superfície de ruptura curva, na forma de arcos côncavos, cuja abertura volta-se para a base da vertente. A segunda cicatriz localiza-se em uma encosta côncava de declividade média de 32°. Em ambos os casos as cicatrizes apresentaram tamanhos semelhantes e, segundo os

autores, a diferença entre as ocorrências está relacionada apenas à taxa de infiltração de água, que é maior no caso da vertente côncava, se comparada com a convexa.

Na análise bibliográfica sobre o tema aparentemente não existe consenso entre os autores sobre esse aspecto, embora grande parte dos estudos ainda indiquem os perfis côncavos como mais suscetíveis a movimentos de massa.

Na bacia do rio Paranhana, o que se verifica em campo como padrão é que normalmente a ocupação urbana ocorre em vertentes convexas e/ou planas. Nessas áreas são realizados cortes no solo e a retirada da vegetação, que na visão dos moradores, consiste em uma barreira para a construção das residências. Essa prática coloca em risco também as residências próximas, localizadas acima e abaixo, visto que na ocorrência de movimentos de massa, as residências são destruídas como em um “efeito dominó”. No caso de residências feitas com material de qualidade inferior a vulnerabilidade aumenta.

Constata-se, entretanto, que nem todas as casas são precárias. Algumas inclusive são de proprietários de alto poder aquisitivo, mas que também se encontram em situação de risco, devido a quantidade de material que pode se deslocar vertente abaixo.

Não existem problemas maiores relacionados com lixo, e lançamento de dejetos, em grande parte das residências, visto que as cidades ainda são pequenas, e fatores como esses são mais comuns em periferias de grandes cidades, no entanto, o fato preocupante é a quantidade de ocorrências registradas em tão pouco tempo e em cidades com números relativamente pequenos de habitantes, como é o caso do vale do Paranhana.

A forma do relevo da região, e a disponibilidade de áreas a serem ocupadas, conduzem os moradores para áreas consideradas de risco. Nas partes mais baixa do vale tem-se a ocorrência frequente de inundações, o que direciona os moradores para as áreas mais altas. Além de fugir das inundações tem-se a especulação imobiliária como fator de deslocamento, muitos moradores de baixa renda não podem pagar por um imóvel em uma área mais valorizada.

A partir dessas novas ocupações, que normalmente contam com dotação de infraestrutura da própria prefeitura municipal, o processo se intensifica, os moradores acabam trazendo seus parentes. Como normalmente se deparam com poucos espaços vazios, para resolver o problema, dividem o lote com seus parentes, que já é pequeno, e dessa forma a área toda vai sendo ocupada e não resta mais nenhum espaço para a moradia.

Os moradores desconhecem a complexidade da dinâmica do meio ambiente, e não levam em consideração, antes de construir sua casa, os condicionantes naturais (cobertura vegetal, a ação das águas pluviais, forma das encostas, entre outros). Ao mesmo tempo desencadeiam outros condicionantes importantes, os antrópicos, deflagradores de deslizamentos e desabamentos a partir da remoção da cobertura vegetal, lançamento e concentração de águas pluviais e/ou servidas, vazamento na rede de água e esgoto, presença de fossas, execução de cortes com alturas e inclinações acima dos limites tecnicamente seguros, execução deficiente de aterros, lançamentos de resíduos sólidos nas encostas.

As próprias prefeituras municipais, a partir de corte nas encostas para a abertura de novas estradas contribuem para a ocorrência desses eventos.

A baixa ocorrência registrada no município de Taquara, pode estar relacionada ao fato de que a maior parte da área desse município esta localizada em uma área mais plana da bacia, não sendo caracterizado por altas declividades e áreas suscetíveis a movimentos de massa.

Já os municípios de Igrejinha e de Três Coroas possuem a maior quantidade das ocorrências de movimentos de massa na bacia e os deslizamentos de maior porte. Isso se deve principalmente, às altas declividades, ao solo pouco espesso que ocorre nessas áreas e as características das ocupações urbanas.

A partir da análise das áreas de ocorrência, pode-se dizer que o processo evolutivo natural das encostas na bacia do Paranhana começa a sofrer o que Casseti (1991) ressalta em seus estudos, onde reafirma o papel das ações humanas e suas relações com a morfodinâmica local. A multiplicidade das ações humanas nas vertentes da bacia do Paranhana além de modificar a paisagem, acelera o processo de desmoronamentos de blocos

rochosos em alguns trechos, e ocasiona a desnudação do solo pelo desmatamento. Esses processos são intensificados pela ocorrência de chuvas intensas e concentradas, o que aumenta também o poder dos processos erosivos, segundo Brasil (2003).

Para Ferreira et al. (2009) “A perda da cobertura vegetal é outro fator de desequilíbrio do sistema natural da vertente, uma vez que ao ser retirada a cobertura vegetal, o solo fica exposto e suscetível a uma ocorrência de movimentos de massa acentuados”.

6.3 Unidades geomorfológicas

Com base nos critérios estabelecidos na elaboração do mapa de relevo de Domínios Geomorfológicos IBGE (2009), foi elaborado um mapa geomorfológico a partir de dados da imagem SRTM. Nesse mapa geomorfológico foram identificados sete Domínios Geomorfológicos: Planície fluvial, Terraço fluvial, Coluvial, Morros e Colinas com topos convexos, Morros e Colinas com topos convexos ou tabulares, Morros com topos convexos ou estreitos e Morros e colinas de topos tabulares, Figura 12.

O entendimento dos padrões geomorfológicos da área de estudo é de extrema importância quando se analisa a suscetibilidade de uma área a erosão ou a movimentos de massa, pois as características geomorfológicas dão indícios, somado ao fator geológico e climático, de quão estável se encontra esta área e de como ela pode ser utilizada sem comprometer seu equilíbrio.

A partir da sobreposição dos pontos de ocorrência de movimentos de massa com as unidades geomorfológicas, observa-se que a maior ocorrência de movimentos de massa encontra-se na categoria de morros e colinas com topos convexos. Esta categoria corresponde a 18,81 % da área da bacia tendo uma área de 105,23 km², Quadro 3, sendo que a maior parte corresponde ao município de Igrejinha.

Quadro 3 - Área das classes geomorfológicas na bacia do Paranhana - RS

Classes	Área (Km ²)	Porcentagem (%)
Planalto dos Campos Gerais	64,02	11,23
Serra Geral	323,04	58,91
Depressão Rio Jacuí	105,23	18,81
Patamares da Serra Geral	21,38	3,38
Planície Alúvio-Coluvionar	50,55	7,63
	561,22	100,00

Nos municípios de Gramado e Três Coroas tem-se a ocorrência de dois pontos em cada município, localizados na categoria de morros com topos convexos ou estreitos. Essa categoria corresponde à maior área da bacia, ocupando 323,04 km², o que equivale a mais da metade de sua área, com 58,91%.

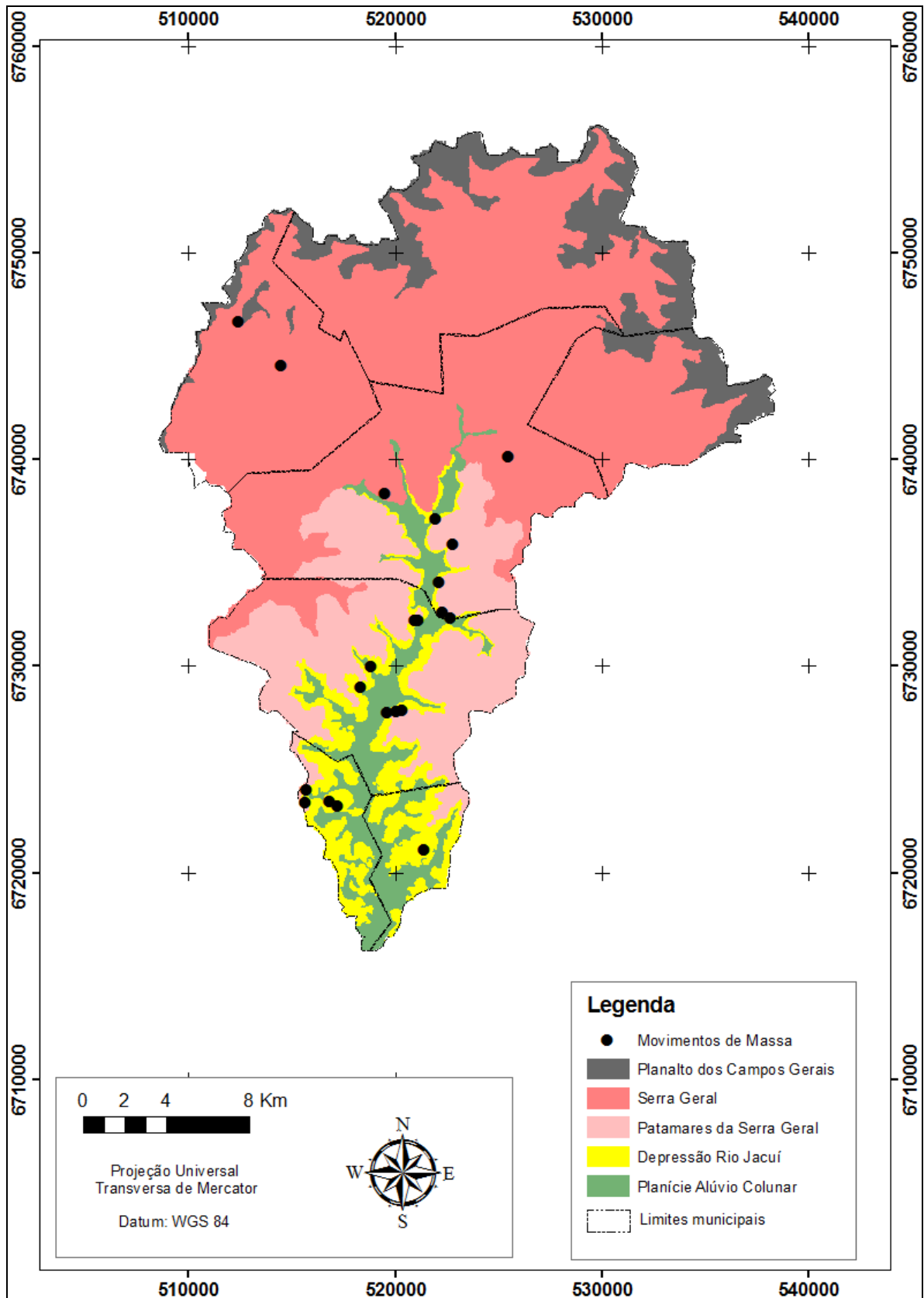


Figura 12 - Mapa de Unidades Geomorfológicas e pontos de ocorrência de movimentos de massa, bacia do rio Paranhana - RS

Como discutido anteriormente não existe concordância na literatura quanto ao fato de unidades convexas serem as maiores responsáveis pelos movimentos de massa, no entanto, percebe-se que nesse caso específico, a maior parte da ocupação antrópica se localiza nessas áreas, sendo ela a maior responsável pelos deslizamentos.

Também pode ser constatado a partir da relação com as unidades do mapa geomorfológico, que as áreas com indícios e com cicatrizes de movimentações de massa observados no setor central da bacia do Paranhana correspondem à linha da Escarpa. E é justamente nesta porção que se localizam as maiores declividades e no qual corresponde a forte ruptura de declive.



Figura 13 - Área de alta declividade localizada sobre a linha de escarpa, entre os municípios de Igrejinha e Três Coroas.

Fonte: Trabalho de campo realizado em 17/11/2011.

6.4 Tipos de modelados geomorfológicos

A análise do modelado geomorfológico busca identificar os processos morfogenéticos existentes na bacia do Paranhana, podendo ser considerados características atenuantes ou causadoras de movimentos de massa. Casseti

(1991) ressalta essa importância ao destacar que “além do fator declividade incluem-se ainda o comprimento de rampa e a forma geométrica da vertente, como intensificadores dos processos morfogenéticos ou diferenciadores da intensidade do fluxo por terra”.

O mapa de tipos de modelados geomorfológicos, Figura 14, foi elaborado a partir do cruzamento das unidades geomorfológicas com os dados de curvatura horizontal e vertical do terreno, obtidos a partir de dados SRTM. Foram definidas 10 classes para o modelado geomorfológico: 1) Colinas e Morros Baixos; 2) Planície Fluvial; 3) Terraços Fluviais; 4) Terraços Coluvionares; 5) Topos de Morros Estreitos ou Alongados; 6) Topos de Morros Convexos; 7) Topos de Morros Tabulares; 8) Vertentes Convergentes; 9) Vertentes Planares; e 10) Vertentes Divergentes.

A análise dos eventos, em relação ao modelado geomorfológico, mostra que grande parte das ocorrências de movimentos de massa na bacia do Paranhana está localizada em áreas de vertentes planas ou divergentes (Quadro 4).

O comportamento encontrado para o Paranhana, entretanto, mostra o contrário do que se esperava e do que a maioria das referências utilizadas nessa pesquisa apresenta. Como, por exemplo, Passarela & Machado (2007), em estudo no entorno do município de Cubatão verificaram que a maior quantidade de deslizamentos concentra-se no perfil de vertentes retilíneas, com uma área que corresponde a 63,64% da área total, devido ao seu alto grau de declividade e por possuir uma camada de solo muito fina.

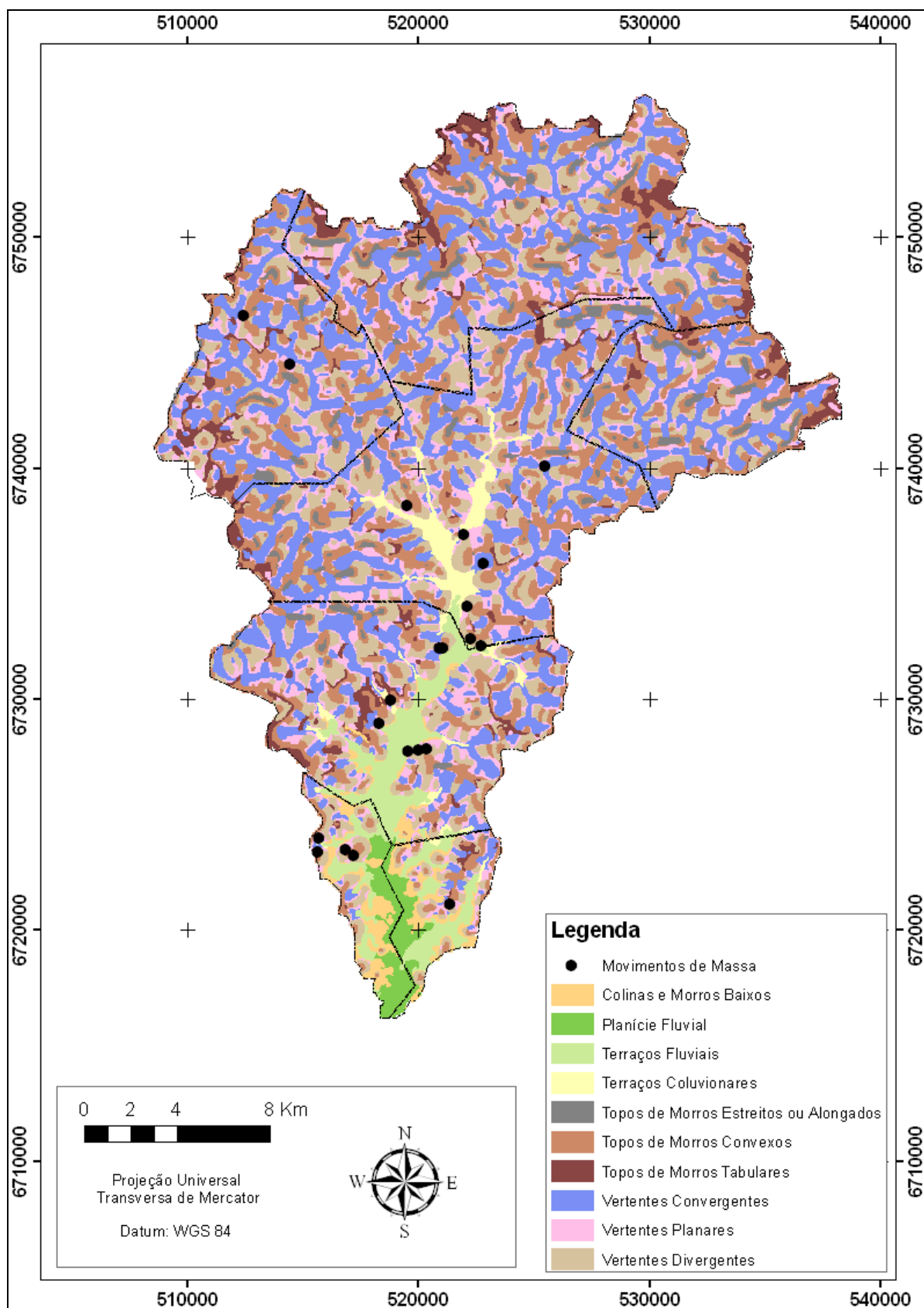


Figura 14 - Mapa de Tipos de Modelado Geomorfológico e pontos de ocorrência de movimentos de massa, bacia do rio Paranhana - RS

Já Lima & Souza (2011) destacam que na sua área de estudo o movimento de massa na vertente foi desencadeado pela associação dos fatores geomorfológicos (declividade acentuada e forma da vertente côncava), ou seja, não ocorreu por um fator apenas, mas uma soma de fatores, característica essa, que pode ser observada em diversos trabalhos.

Selby (1993), por sua vez afirma que as corridas ocorrem, em geral, em locais onde há uma abundância de material facilmente mobilizável através da adição de água. Estas condições são comumente encontradas em encostas, especialmente nas porções côncavas do relevo.

Quadro 4- Quantidade de deslizamentos ocorridos em cada tipo de modelado geomorfológico da bacia do Paranhana-RS

Modelado Geomorfológico	Ocorrências de deslizamentos
Topos de morros convexos	4
Vertentes convergentes	3
Vertentes divergentes	9
Vertentes planares	5
TOTAL	21

Nos eventos localizados em Três Coroas os escorregamentos possuem a sua base na classe de vertente divergente e o topo do escorregamento na classe topo de morro convexo. Nesses casos, a causa provável para ocorrência de movimentos de massa nessa região está relacionada ao corte realizado no solo, logo abaixo dos deslizamentos, onde está localizada a RS 115. Após a construção dessa rodovia, a construção de moradias com a retirada de vegetação na região se intensificou, ocasionando uma perda da base de sustentação da encosta, Figuras 15 e 16.



Figura 15 - Imagem de 2010, após a ocorrência de deslizamento no município de Três Coroas com localização do local de deslizamento e da RS-115.

Fonte: Google Earth.

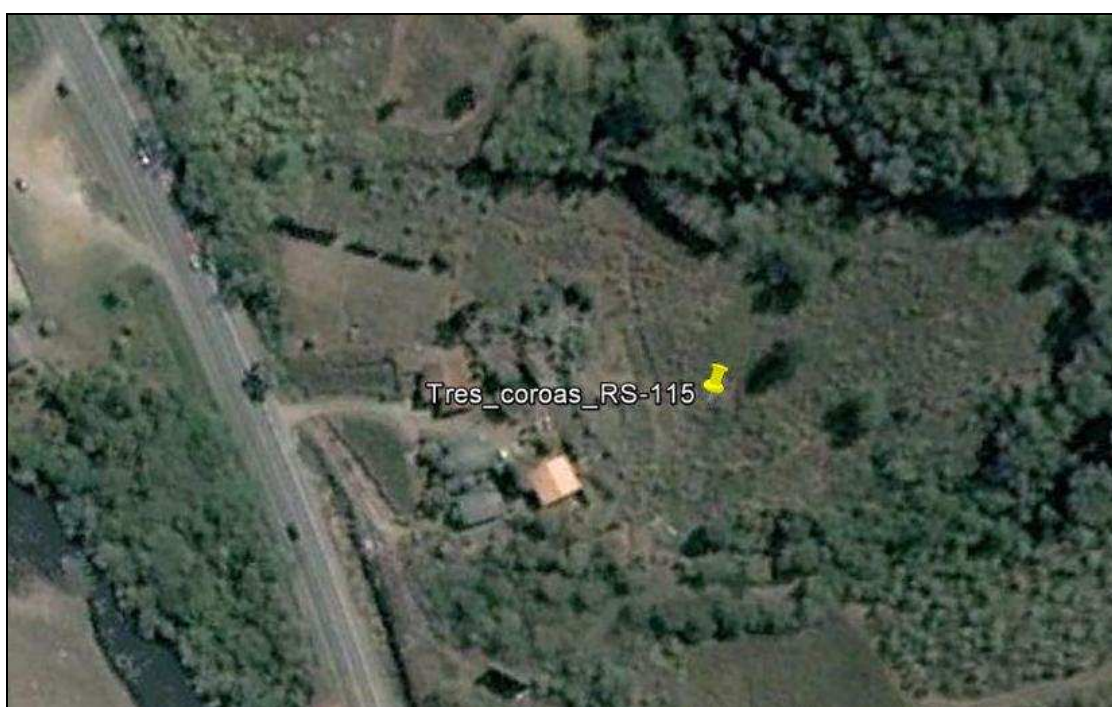


Figura 16 - Imagem de 2005, anterior à ocorrência de deslizamento no município de Três Coroas, onde se percebe menor ocupação.

Fonte: Google Earth.

Dois outros pontos também no município de Três Coroas foram classificados como localizados em vertentes convergentes. Em trabalho de campo realizado em 10/07/2011, entretanto, constatou-se que nesses pontos existe pouca ou nenhuma intervenção antrópica. Em um deles houve inclusive canalização de parte da água após a data da ocorrência, caracterizada como corrida de massa pela presença de drenagem e do grande porte. O ponto não possui alteração antrópica no local da ocorrência, sendo inclusive um local de difícil acesso, mesmo a pé, seu local preciso foi estimado, pois na sua ocorrência em mata fechada, o receptor GPS não captava a quantidade necessária de satélites para gerar dados, Figura 17.



Figura 17 - Corrida de massa, área com pouca intervenção antrópica, município de Três Coroas - RS.

Fonte: Trabalho de campo realizado em 09/07/2011.

No município de Parobé, percebe-se que todas as ocorrências estão localizadas em áreas de vertentes convexas, e que todas possuem densa ocupação. A ocupação em Parobé está localizada justamente em vertentes convexas, estando aí o possível motivo para o maior número de deslizamentos.

6.5 Mapa de elevação

O mapa de elevação foi elaborado tendo como base dados SRTM. Foram definidas 4 classes: 16 m - 200 m, 200 m - 400 m, 400 m - 600 m e 600 m - 930 m.

A variável elevação possui pouca relação com a ocorrência de movimentos de massa, segundo as referências utilizadas, não sendo uma das características principais ou responsáveis em sua deflagração. De qualquer forma, o mapa de elevação consiste em um sub-produto que pode ser utilizado pelos órgãos gestores.

A análise do mapa de elevação, Figura 18, mostra que praticamente todos os pontos estão localizados na primeira classe, entre as altitudes que vão de 16 a 200 metros. Essa característica já era esperada, já que os pontos coletados estão em áreas de risco associados a ocupação urbana. A exceção são os pontos localizados em Gramado, sendo que um deles se localiza na terceira classe, que vai de 400 a 600 metros e outro na quarta classe, de 600 a 930 metros.

Um fator relacionado com a diferença altimétrica da região consiste nos índices de chuvas, que devido a condição orográfica da região ocasionam precipitações localizadas e intensas, gerando elevados índices de precipitação em um curto período de tempo e em uma área pequena. Isso dificulta a leitura dos índices de chuva, pois na região existem poucas estações pluviométricas o que acarreta numa deficiência de dados históricos referentes à precipitação.

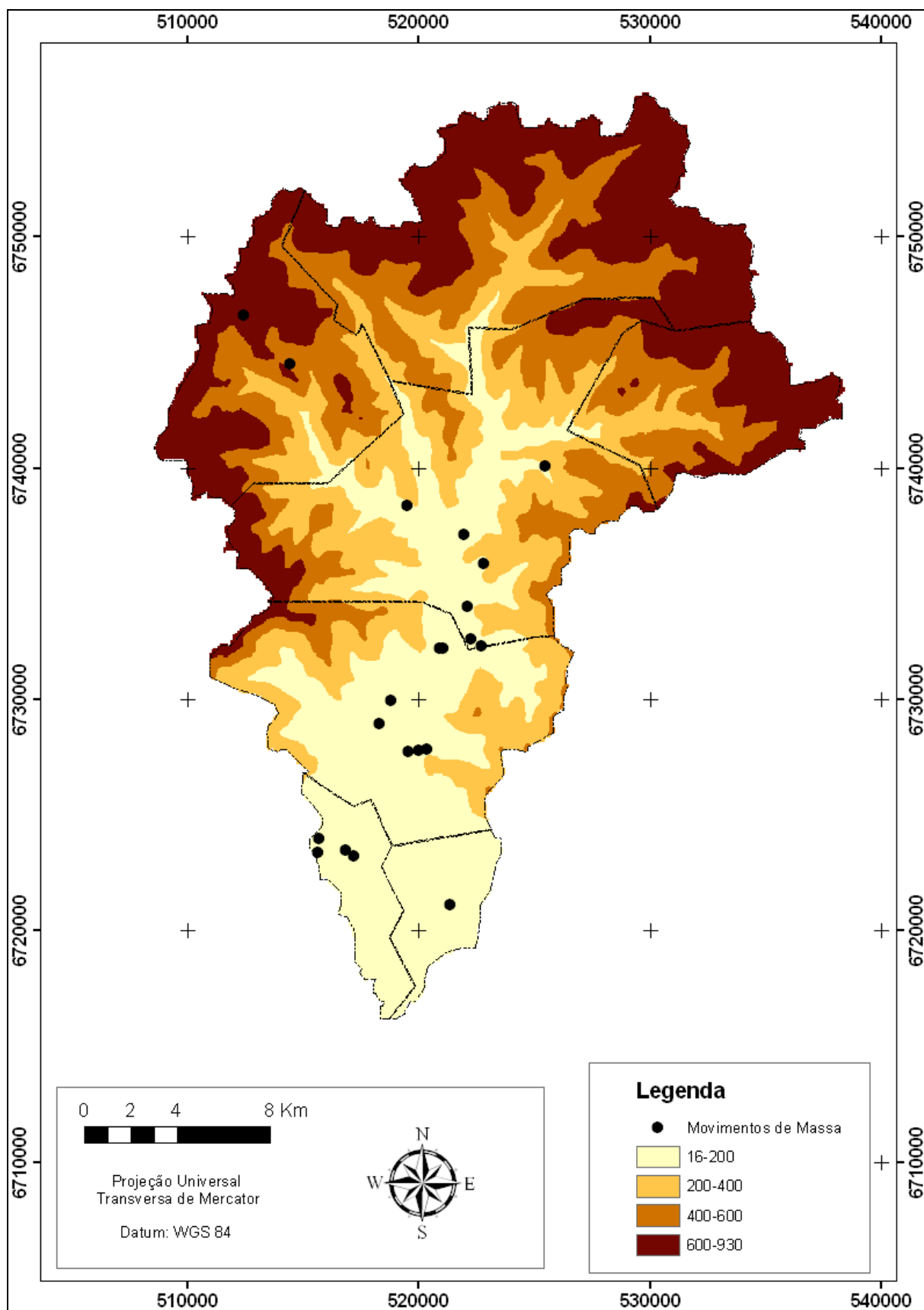


Figura 18 - Mapa de Elevação e pontos de ocorrência de movimentos de massa, bacia do rio Paranhana - RS

Quadro 5 - Área das classes de elevação na bacia do Paranhana-RS

Classes	Área (Km ²)	Porcentagem (%)
16- 200	151.61	26,13
200-400	126,86	21,87
400-600	135.89	23,42
600-930	165.64	28,55

A partir do Quadro 5, percebe-se que existe uma homogeneidade da porcentagem da área de cada classe, sendo a quarta classe, a que possui a maior área na bacia com 28,55 %.

O mapa hipsométrico foi elaborado para auxiliar na interpretação visual da diferença altimétrica da região. A bacia do Paranhana possui uma amplitude altimétrica de 914 metros, estando a menor altitude de 16 metros na sua foz onde se encontra com o rio dos Sinos, e a sua maior altitude a 930 metros, onde encontram-se suas nascentes.

Apesar das ocorrências estarem concentradas nas menores altitudes da bacia, isso não implica, por exemplo, que nas porções mais altas não ocorram movimentos de massa. Como dito anteriormente os pontos levantados em campo e os que constam no site da Defesa Civil, só mostram ocorrências em áreas urbanas, e quando os eventos afetam a população.

6.6 Mapa de declividades

Uma característica da região e que pode ser observada em campo é a ocorrência de relevo com grande comprimento de vertentes, além de bastante íngremes. As características topográficas de um local devem ser consideradas fatores resposta no estudo da estabilidade de um ambiente físico, Figura 19.



Figura 19 - Ocupação sobre área de vertente longa e de alta declividade, área considerada de risco pela Defesa Civil municipal, mas que ainda não apresentou movimentos de massa, município de Igrejinha.

Fonte: Trabalho de campo realizado em 17/17/2011.

O mapa de declividades, Figura 20, elaborado com base em dados SRTM, foi classificado em 5 classes conforme a porcentagem de declividade: de 0 a 12%, 12 a 20%, 20 a 30%, 30 a 47 % e maior que 47%.

Também foi delimitada visualmente a linha de escarpa, baseado na proximidade das linhas de curva de nível, nos locais onde as curvas estavam mais próximas umas das outras, foi delineada a linha de escarpa.

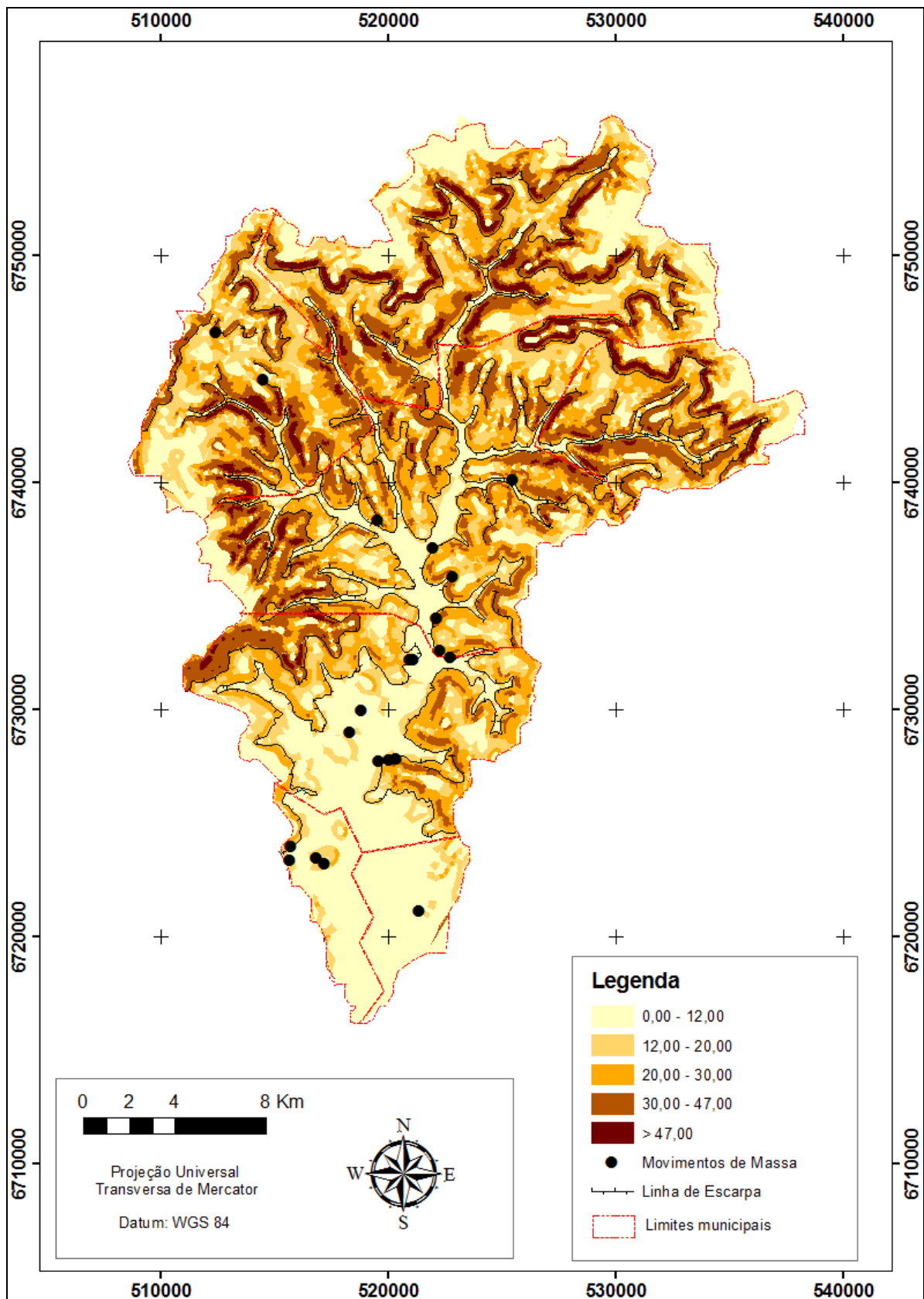


Figura 20 - Mapa de declividades e pontos de ocorrência de movimentos de massa, bacia do rio Paranhana - RS

No caso da bacia do Paranhana, em todos os casos levantados de escorregamentos, a declividade foi um fator importante, no entanto, não é o único condicionante quando se trata dos processos de deslizamento. Esses processos têm causas diversas e, na maioria das vezes, trata-se da soma de fatores que os desencadeiam como as altas declividades e os eventos pluviométricos extremos. No entanto, também não se deve afirmar que apenas a precipitação é a responsável por todos os deslizamentos. Afinal, ela atua em ambientes com a estabilidade comprometida, agindo assim, como um dos principais deflagradores em locais onde as características litológicas e geomorfológicas demonstram a propensão a movimentações.

Constata-se também que a maioria das ocorrências de movimentos de massa está inserida na 4ª classe de declividade, de 30 a 47 %. Essa classe corresponde a terceira maior área de declividade da bacia, com 18,81 % sendo um total de 107,35 Km², Quadro 6.

Quadro 6 - Área das classes de declividade na bacia do Paranhana-RS

Classes	Área (Km ²)	Porcentagem (%)
0 a 12%	142,76	25,01
12 a 20%	105,41	18,47
20 a 30%	191,15	33,50
30 a 47%	107,35	18,81
>47%	24,00	4,20
	570,67	100

No município de Parobé, os quatro pontos de deslizamento estão localizados em áreas de alta declividade, e estão inseridos na terceira classe que vai de 20 a 30% de declividade. Um dos pontos, do município de Parobé, corresponde a um processo de Rastejo. Embora o processo de rastejo seja considerado lento (da ordem de cm/ano) têm-se a ocorrência de vários blocos de rocha na porção superior deste ponto, ocasionando risco para as residências localizadas abaixo dessa área.

Os dois pontos de ocorrência de movimentos de massa localizados em Igrejinha também estão em áreas de alta declividade. O ponto localizado próximo a RS 116 foi um deslizamento recente, no dia 22 de abril de 2010,

atingindo seis casas, e provocando diversas mortes, possui uma declividade alta, e também está inserido na 4ª classe. O segundo ponto, está inserido na mesma classe, localizado atrás da escola Garibaldi. A área se caracteriza pela ocorrência de solo pouco espesso, sendo bastante perceptível a alta declividade a partir do substrato rochoso existente no local.

Percebe-se também a relação direta da ocorrência de deslizamentos com a escarpa, caracterizada por uma brusca ruptura da vertente. No município de Três Coroas e Gramado todos os pontos de ocorrência possuem relação com a escarpa, estando localizados sobre a linha de ruptura. Em Igrejinha apenas dois pontos não estão localizados sobre a escarpa, mas que estão ligados com a ocupação irregular e com a alta declividade.

No caso de Parobé e Taquara tem-se o mesmo caso, um dos pontos localizados em Parobé está sobre a escarpa e os outros três pontos que não se situam sobre a ruptura da vertente estão relacionadas à ocupação irregular e à alta declividade, como também ocorre em Taquara.

Destaca-se que a escarpa foi delimitada a partir de rupturas bruscas identificadas no mapa de declividades, e caracterizam áreas de cicatrizes de deslizamento de massa na maior parte.

Mediante a análise das inclinações dos terrenos nas áreas escorregadas e com indícios de novas movimentações foi possível identificar que o fator de inclinação das encostas tem um papel preponderante nos movimentos de massa na bacia do Paranhana. Os mais expressivos movimentos ocorreram em terrenos com forte inclinação, com declividades altas.

No caso da área da RS 116, a encosta já apresentava declividade acentuada, a qual devido ao corte vertical feito para a construção dessa rodovia aumentou seu ângulo de inclinação. Isso fez com que aumentassem os fatores de suscetibilidade a movimentação. Dessa forma, ao se comparar os processos mapeados na bacia hidrográfica, com a declividade representada no mapa, é possível observar que a alta declividade está presente nas áreas onde foram levantadas as maiores quantidades de deslizamentos.

6.7 Áreas suscetíveis a movimentos de massa

A partir dos trabalhos de campo e da análise dos mapas de declividade e de tipos de modelados geomorfológicos, foi possível identificar padrões nas ocorrências de movimentos de massa.

Inicialmente constata-se que a variável declividade é um fator preponderante em qualquer área onde já tenha ocorrido deslizamento, e onde seja suscetível a movimentos de massa. No caso da bacia do Paranhana, praticamente toda ela possui declividade alta, caracterizada pela própria condição do terreno, os modelados geomorfológicos possuem também relação com os padrões de ocorrência na classe de morros e colinas com topos convexos, onde existe uma mudança da condição geomorfológica, só que essa relação contribui em menor escala se comparado com a declividade e os modelados geomorfológicos.

Constata-se também a partir dos tipos de modelados geomorfológicos, que as ocorrências obedecem a um padrão, sendo que aquelas que possuem nenhuma ou baixa intervenção antrópica, ocorreram em vertentes côncavas que se caracterizam pelo acúmulo de água por serem convergentes. Embora não se tenha informações de muitos deslizamentos fora da área urbana, acredita-se que podem ocorrer em grande quantidade na região, devido ao seu relevo. Segundo Baptista et al (2005) destacam esse tipo de ocorrência na APA de Petrópolis-RJ, segundo os autores, mesmo em áreas não ocupadas é possível observar a ocorrência, muito comum, de movimentos de massa naturais, resultantes dos processos de evolução natural da encosta. Esses processos resultam de uma predisposição natural, função da litologia existente e do controle estrutural, que gera elevadas declividades em áreas muito extensas.

Em nenhum dos municípios observa-se, no parcelamento do solo, critérios urbanísticos no planejamento das áreas urbanas. De forma geral, ocorre uma ocupação desordenada. Destaca-se que nas áreas com deslizamentos, onde houve maior intervenção antrópica, que esses eventos ocorreram, na sua maioria, em vertentes divergentes e convexas. Esses fatos também foram observados em campo, sendo que a maior parte das áreas

ocupadas e com alta declividade se localizam em vertentes convexas e/ou planas (Figura 21).

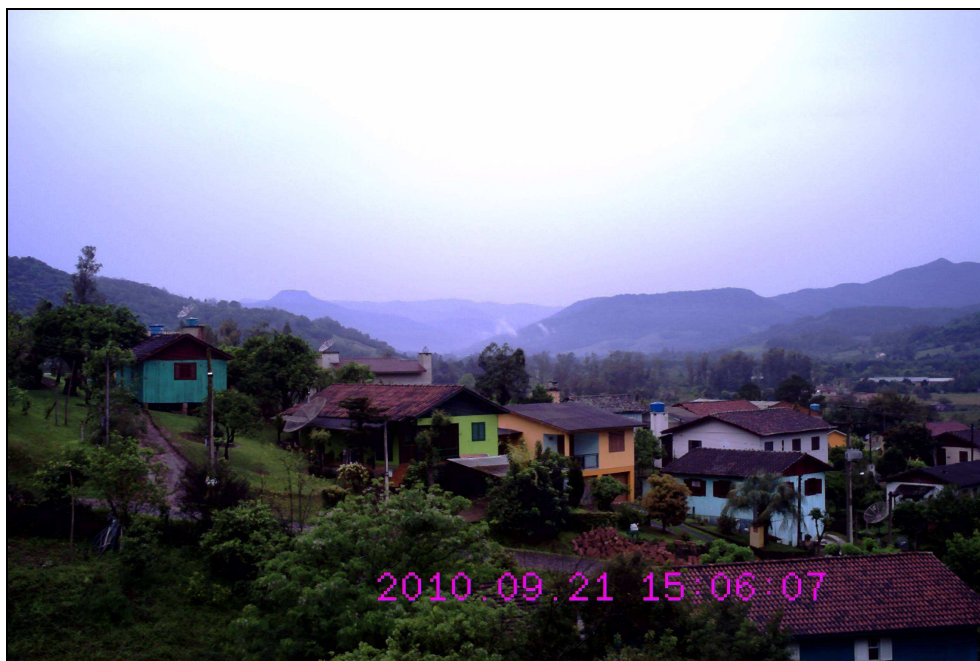


Figura 21 - Ocupação sobre área de vertente convexa, município de Igrejinha.

Fonte: Trabalho de campo realizado em 21/09/2010.

Destaca-se também que o número maior de ocorrências em vertentes convexas, influenciadas pela ação antrópica, se justifica pelo fato de que na região só existem dados referentes à deslizamentos que causaram danos, sendo que o número de deslizamentos em vertentes côncavas pode ser maior, no entanto não se tem conhecimento sobre essas ocorrências.

A partir do mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos de massa, Figura 22, percebe-se, que grande parte dos deslizamentos situa-se próximo ou sobre a linha de escharpa, identificada a partir do mapa de declividades, e devido ao fato da variável declividade ser um dos principais deflagradores de deslizamentos, a linha de escharpa deve ser compreendida também como uma área de alto risco.

No entanto, o padrão que se sobressai a partir do mapeamento das ocorrências de deslizamentos de massa, e que pode demonstrar de forma clara como um subsídio para a identificação de áreas suscetíveis a movimentos de massa é a quebra brusca do relevo em sua declividade, constituída pela linha de escharpa. Dessa forma a escharpa também foi

considerada como área de alta suscetibilidade a movimentos de massa, conforme Figura 22.

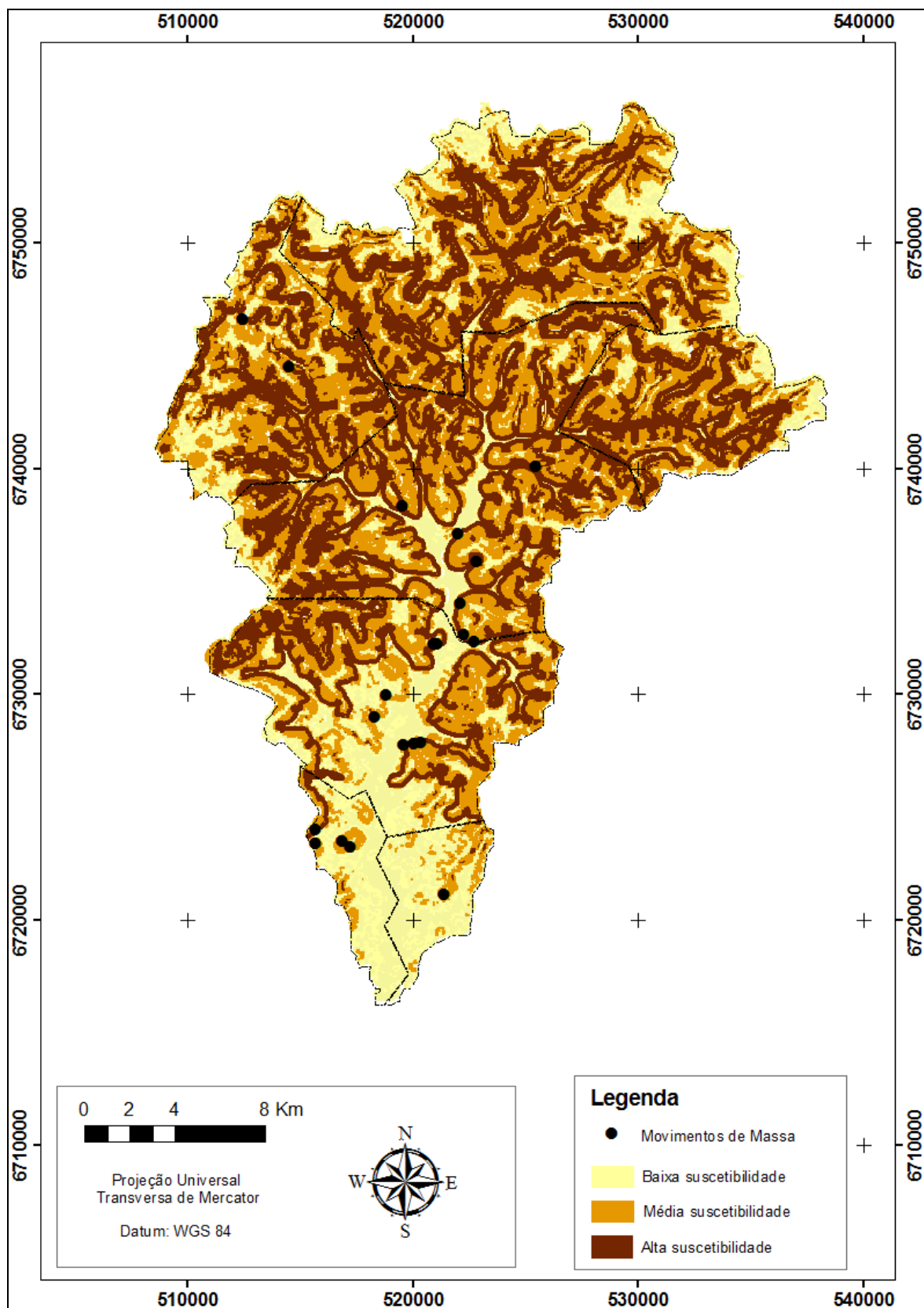


Figura 22 - Mapa de áreas suscetíveis à movimentação de massa na bacia do rio Paranhana – RS

A maior área da bacia está inserida na classe de média suscetibilidade, o que corresponde 41% da área total da bacia. São áreas que não reúnem todos os condicionantes propícios a escorregamentos, e possuem poucas cicatrizes mapeadas, se apresentam de forma generalizada na região.

As áreas de alta suscetibilidade correspondem a 29,45 % da bacia, Quadro 6. Consiste na área em que está mapeada a maior quantidade de cicatrizes de escorregamentos, e onde estão presentes os condicionantes mais propícios a escorregamentos. Destaca-se que esse mapa é produto da relação entre modelados geomorfológicos e declividades, e no tocante à ocorrência de movimentos de massa, muitos outros fatores devem ser levados em consideração, como a ocupação, as precipitações e a cobertura vegetal.

A porção relativa à baixa suscetibilidade corresponde à 29,55% da área total da bacia, e é caracterizada por áreas mais planas que reúnem condicionantes pouco propícios à ocorrência de deslizamentos. Destaca-se que embora essa área mais plana da bacia seja pouco atingida por deslizamentos, nos mesmos períodos de eventos pluviométricos extremos, essa porção é atingida por inundações, por constituir planície de inundação natural do Rio Paranhana. Sendo que tanto os deslizamentos de terra quanto as inundações possuem como fator impulsionador os eventos pluviométricos.

Quadro 7 - Área das classes de suscetibilidade na bacia do Paranhana-RS

Classes	Área (Km ²)	Porcentagem (%)
Baixa suscetibilidade	170,12	29,55
Média suscetibilidade	235,97	41,00
Alta suscetibilidade	169,55	29,45
	575,64	100

Uma característica presente na região são os solos pouco espessos, com a presença de vegetação de grande porte. Em diversas cicatrizes de deslizamentos é perceptível o substrato geológico pouco alterado. Com essas características, após a retirada da base e com a infiltração de água em subsuperfície acaba contribuindo para a aceleração do processo de

deslizamento. Esse foi o caso do deslizamento da imagem da Figura 23, localizado na divisa dos municípios de Igrejinha e Três Coroas, e que provavelmente foi ocasionado pelo corte feito para a abertura de estrada na base do morro.



Figura 23 - Área de deslizamento em substrato rochoso, divisa dos municípios de Igrejinha e Três Coroas - RS.

Fonte: Trabalho de campo realizado em 17/11/2011

Monguilhot (2008) exemplifica a relação do corte em taludes com a ocorrência de erosão na RS 486, segundo ela, “caracterizada pela grande quantidade de aterros e cortes em sua extensão, os fenômenos erosivos da Rodovia RS/486 são facilitados pela abertura de taludes de corte em solo. Nestes taludes, a associação da sensibilidade do solo à erosão relacionada principalmente pela intensidade de chuvas facilita a erosão pela inclinação e altura dos cortes. Neste aspecto, a proteção vegetal da superfície dos taludes e obras de contenção atenuam os processos erosivos instalados”.

O processo de ocupação das encostas na bacia do Paranhana se desenvolveu inicialmente pela retirada da vegetação natural. Posteriormente os moradores realizam cortes no solo, (Figura 24) formando patamares onde

foram construídas suas moradias. A remoção dessa vegetação expõe o solo ao impacto direto da chuva e às águas correntes permitindo maior infiltração nas partes planas sobre as encostas e também maior escoamento superficial e sub superficial nas vertentes destas mesmas encostas.



Figura 24 - Corte realizado na base do morro, para construção de uma nova residência, município de Igrejinha - RS.

Fonte: Trabalho de campo realizado em 17/11/2011

O tipo de material utilizado na construção das moradias é diferente, propiciando maior ou menor exposição ao risco. A qualidade da ocupação responde ao grau de vulnerabilidade, caso venha a ocorrer um deslizamento. A casa de alvenaria devido ao seu padrão construtivo será menos vulnerável a desabar comparado com as casas de taipa ou mista. Pode-se observar que a alta inclinação do terreno não intimida os moradores, pelo contrário, eles encontram novas formas de construir suas casas, de modo que permaneçam firmes, realizando cortes na encosta que antes de tornava um obstáculo para a construção das casas, no caso da Figura 25, uma casa destruída por um deslizamento de terra, foi construída sobre a base do morro, e parte da rocha presente no morro de formação arenítica, foi extraída pra possibilitar a

construção da moradia de 2 andares e toda de alvenaria, o que não impediu que a casa fosse destruída pelo deslizamento de terra.



Figura 25 – Parte lateral de casa de alvenaria destruída por movimento de massa, e substrato rochoso, onde foi realizado um corte para construção da residência no município de Três Coroas - RS.

Fonte: Trabalho de campo realizado em 17/04/2011

Em trabalho de campo verificou-se a falta de infraestrutura voltada à prevenção de deslizamentos. A exceção são duas obras de contenção no município de Igrejinha, sendo que uma delas consiste na construção de um muro de proteção na base de uma encosta onde já ocorreu deslizamento e que ameaça uma escola, e outra, que consiste na colocação de uma cerca de proteção em uma pedreira abandonada evitando assim o risco de queda de blocos nas residências que estão localizadas dentro da área da pedreira.

6.8 Mapeamento da área urbana

Para o mapeamento da área urbana foi utilizada uma imagem IKONOS II obtida pela CPRM (Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais), e fornecida à prefeitura de Igrejinha.

Também foi utilizada uma imagem do satélite Landsat 5, onde foi realizada uma classificação digital supervisionada, a partir da aquisição das amostras nas próprias imagens de toda a bacia do Rio dos Sinos, e posteriormente foi recortada a bacia do Rio Paranhana (LIMA, 2011).

As imagens foram utilizadas para vetorizar as áreas de ocupação urbana. Os municípios localizados na área de estudo são pequenos, e apresentam algumas características relativas ao tipo de propriedade, que são maiores do que as de cidades grandes. Os terrenos são maiores e nem sempre são totalmente ocupados por construções, muitas vezes possuem espaços verdes nos fundos, que no caso de uma classificação automática, poderia causar confusão para identificar a área urbana, visto que as construções urbanas possuem menos densidade, se comparado com uma cidade grande (Figura 26).



Figura 26 - Visão geral de parte urbana do município de Parobé, onde percebe-se a baixa densidade de casas e construções, e grandes áreas verdes.

Fonte: Trabalho de campo realizado em 10/07/2011.

Com o reconhecimento de campo foi possível conhecer a dinâmica das áreas urbanas, e identificar qual o padrão deve ser mapeado como área

urbana. Segundo Bauer & Steinnocher (2001), o conhecimento sobre o tipo de alvo a ser classificado torna-se imprescindível para um bom mapeamento, principalmente quando se considera as classes de “uso do solo” como um conceito abstrato, o qual é definido pela sua funcionalidade e não pela sua forma.

Forster (1994) afirma que o sensoriamento remoto surge como uma técnica alternativa e bastante eficiente para avaliar o processo de crescimento do espaço urbano. Esta técnica, aliada a outras tecnologias, fornece a possibilidade de monitorar, além do crescimento urbano, os problemas ambientais decorrentes do processo de expansão da mancha urbana. Paes (2002) na busca de índice de qualidade de vida (IQV) conseguiu separar e quantificar diferentes alvos urbanos através do uso de classificação supervisionada, utilizando imagens do IKONOS II.

Dessa forma, o mapeamento da área urbana da bacia hidrográfica do rio Paranhana, foi realizado visando fornecer um subsídio para a confecção do mapa de risco

Percebe-se, no mapa da Figura 27, que a maioria dos deslizamentos estão localizados na borda das manchas urbanas. Essas áreas periféricas estão situadas, normalmente, em áreas de maior declividade, e que possui uma menor quantidade de residências. Isso pode ser visto principalmente nos municípios de Igrejinha e Três Coroas que possuem a maior quantidade de deslizamentos, sendo que neste último temos um deslizamento que encontra-se distante da área urbana.

Os municípios de Canela e São Francisco de Paula possuem uma pequena parte de sua área urbana inserida nos limites municipais, mas nenhuma ocorrência de deslizamento mapeada. Gramado possui um deslizamento dentro da área urbana, localizado próximo de uma indústria, e outro fora da área urbana, influenciado possivelmente pela construção de uma estrada.

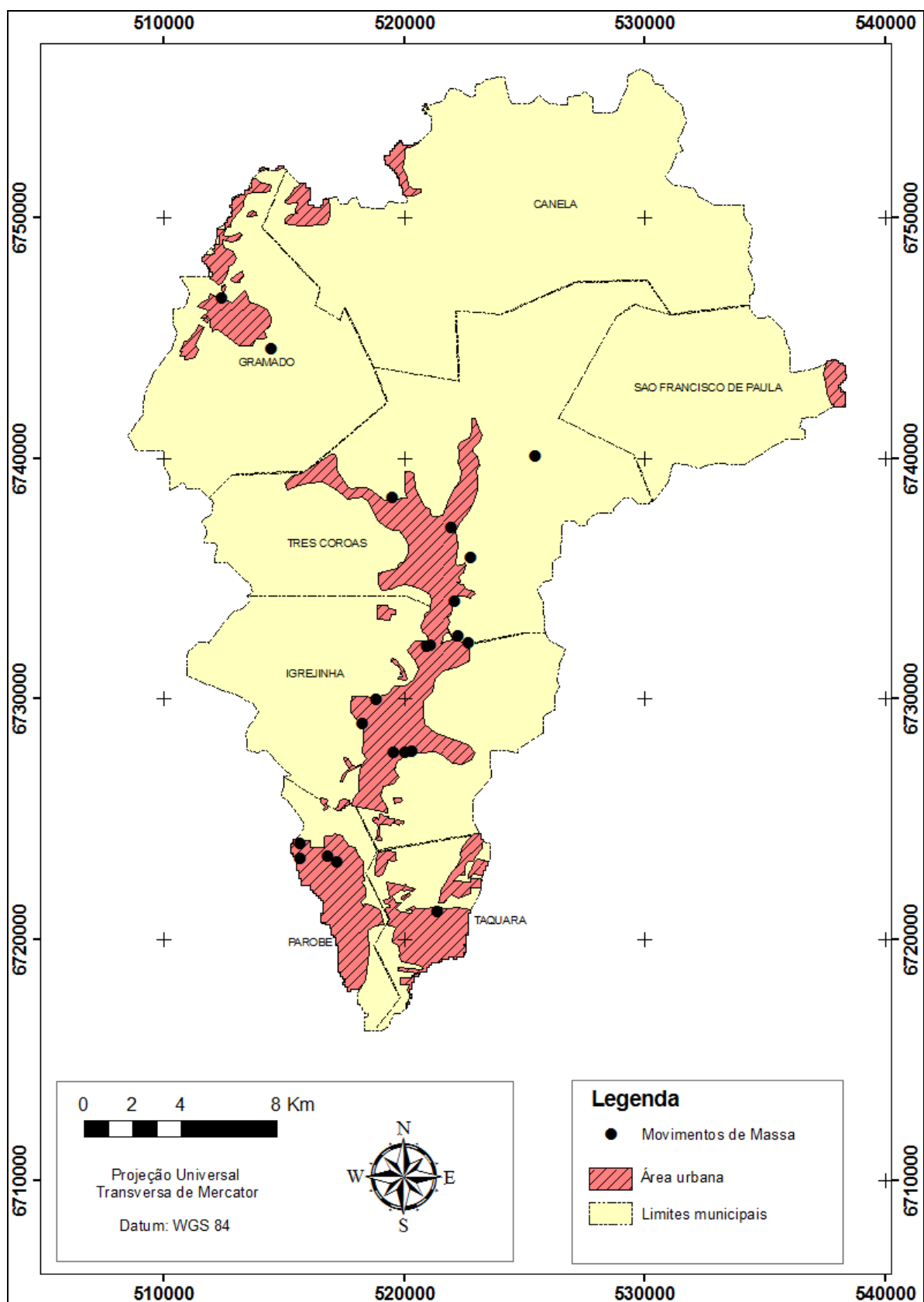


Figura 27 - Mapa de áreas urbanas e dos pontos de ocorrência de movimentos de massa na bacia do rio Paranhana – RS

Os municípios de Parobé e Taquara possuem todas as ocorrências de deslizamentos dentro da sua área urbana. No caso de Parobé, os deslizamentos estão localizados em áreas de grande adensamento populacional, principalmente em vilas de baixa renda, e em condições precárias.

Identifica-se nas áreas urbanas, um padrão construtivo, onde existem poucas residências de baixa renda, com exceção de algumas poucas vilas isoladas. Grande parte das residências possui padrão médio. Também se percebe poucas áreas verticalizadas, com exceção de alguns prédios de poucos andares localizados no centro das cidades.

As áreas industriais e comerciais estão um pouco mais afastadas das áreas urbanas. Embora algumas delas estejam em áreas de risco a inundação, assolada frequentemente pelas inundações do rio Paranhana, por estar localizada próxima de seu leito, em áreas mais baixas e planas, como é o caso de uma indústria cervejeira localizada no município de Igrejinha.

A partir do mapeamento do uso urbano foi possível identificar que diversas áreas que deveriam ter seu uso restrito à ocupação, já foram ocupadas irregularmente. Mas em alguns casos essas áreas já foram regularizadas pela prefeitura inclusive com a dotação de infraestrutura. Esse tipo de ocupação, que deveria ser contida, acaba gerando impunidade e estimulando a ocorrência de novas ocupações.

A análise da relação entre as áreas urbanas e os dados hipsométricos, permite identificar uma predisposição da ocupação nos municípios. Nos municípios de Taquara e Parobé, localizados em áreas mais planas, existe uma ocupação mais descentralizada em relação à área da bacia.

No caso de Igrejinha e Três Coroas, a ocupação ocorre nas partes mais baixas e próximas do rio Paranhana, que são também mais baixas. Nessas áreas a ocupação se dá, porém por falta de espaço para habitação, e também pelo risco de inundações. Algumas residências já estão avançando em áreas mais altas do município, onde existe o risco de deslizamentos.

Nos municípios de Gramado e São Francisco de Paula, as áreas urbanas estão localizadas nas áreas mais altas da bacia, porém são áreas mais planas, e localizadas sobre o divisor de águas, áreas consideradas de pouca suscetibilidade.

A partir dos mapas de declividade, hipsométrico, e de áreas suscetíveis a movimentos de massa, é possível determinar áreas preferenciais para a ocupação nos municípios, que não coloquem em risco a vida da população buscando um planejamento integrado e visando o crescimento populacional futuro.

6.9 Mapeamento das áreas suscetíveis a movimentos de massa em áreas urbanas

O mapeamento dessas áreas visa identificar as áreas urbanas dos municípios da bacia do Paranhana com ocorrência de suscetibilidade a movimentos de massa.

O mapa, Figura 29, foi gerado a partir do cruzamento da suscetibilidade a movimentos de massa e de áreas urbanas. A partir dessa relação foram identificadas 3 classes de perigo: alto, médio e baixo. As áreas urbanas com maior perigo estão localizadas principalmente em Três Coroas e Igrejinha.

No município de Três Coroas têm-se duas linhas de ocupação, uma no sentido noroeste em direção a Gramado, e outra no sentido norte em direção a Canela. Em ambas as direções ocorrem áreas de alto perigo a ocorrências de movimentos de massa, parte delas ainda não houve ocorrência de deslizamentos. Estas áreas são críticas principalmente por estarem localizadas sobre a linha de escarpa. Essa porção da bacia, mesmo tendo uma alta declividade foi quase que toda ocupada na porção oeste da área urbana de Três Coroas.

Taquara e Parobé possuem poucas áreas de perigo com suscetibilidade alta. Suas áreas urbanas estão localizadas em terrenos mais planos, e as ocorrências de deslizamento no município estão relacionadas à ocupação indevida e irregular, além de serem deslizamentos de menor proporção se comparados com os ocorridos em Três Coroas e Igrejinha.

Não existem apenas áreas de baixo poder aquisitivo irregulares sendo ocupadas em áreas de perigo. Embora ocorra em menor número, percebe-se também a construção de algumas moradias mais nobres, da população de maior poder aquisitivo, e que representam risco para seus moradores da mesma forma que as moradias de população de menor renda, (figura 28).

Situação semelhante foi relatada por Batista et al. (2005) na APA Petrópolis. Nessa área, a grande ocorrência de movimentos de massa agrava-se, entre outros fatores, devido à concentração urbana desordenada em áreas de risco e de relevo acidentado. Existem, de fato, construções feitas de forma insegura, em locais impróprios, porém há também várias ocorrências de movimentos de massa em áreas nobres, áreas que não poderiam ser ocupadas por se localizarem em encostas muito íngremes, com convergência de fluxos ou pela ocorrência de talus.



Figura 28 – Casa de médio padrão sendo construída em área de perigo no município de Igrejinha - RS.

Fonte: Trabalho de campo realizado em 17/11/2011.

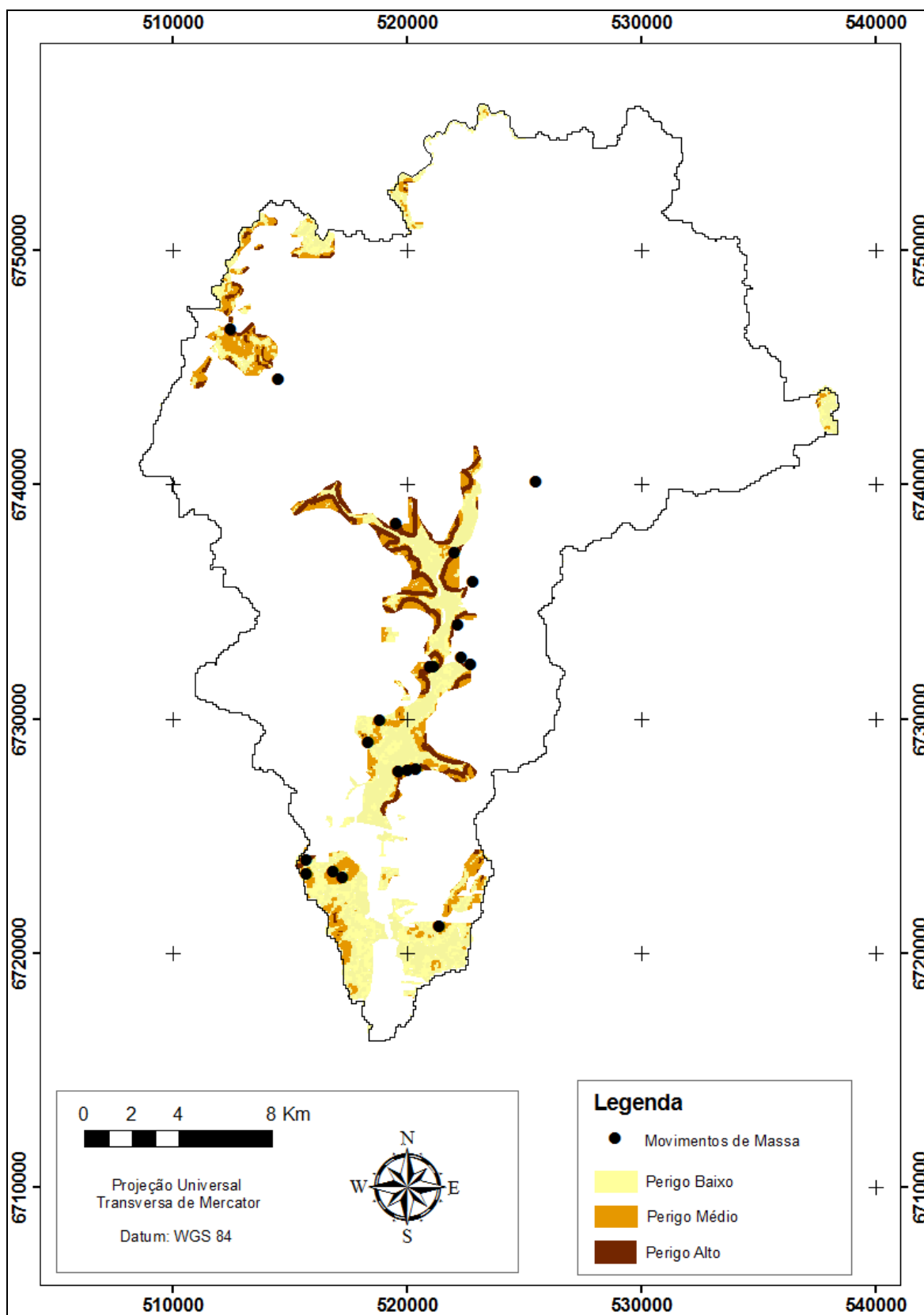


Figura 29 - Mapa de áreas suscetíveis à movimentos de massa em áreas urbanas, bacia do rio Paranhana - RS

O município de Gramado possui algumas, porém poucas áreas consideradas de perigo. São Francisco de Paula e Canela praticamente não apresentaram área de perigo alto em sua área urbana.

Destaca-se que de todos os municípios localizados na bacia hidrográfica do rio Paranhana, apenas os municípios de Igrejinha e Três Coroas possuem quase a sua totalidade de área urbana inserida dentro da bacia do Paranhana. Os municípios de Taquara, Parobé, Gramado, Canela e São Francisco de Paula possuem menos da metade de sua área urbana localizada dentro da bacia, sendo que esses municípios também podem possuir outras áreas de perigo, porém fora dos limites da bacia.

As áreas de perigo alto estão localizadas principalmente nas bordas da mancha urbana, onde ocorre um aumento da elevação, e um aumento da declividade. Esse fato ocorre devido a falta de planejamento urbano, com áreas destinadas a expansão urbana. A população tende a ocupar as encostas devido à falta de informação por parte das autoridades referente aos risco de deslizamentos, já que as ocorrências de inundações são mais freqüentes, e a população se transfere das áreas mais planas, sujeitas à inundações, para as áreas mais íngremes, sujeitas a movimentos de massa.

Listo & Vieira (2010), analisaram o papel dos parâmetros topográficos na deflagração de escorregamentos rasos como subsídio para avaliação de áreas de risco na bacia do Limoeiro, Alto Aricanduva - SP. Para o mapeamento de risco elaboraram uma ficha de cadastro, utilizada em campo, e com base nos aspectos naturais e antrópicos, o risco foi avaliado em quatro escalas: R1, R2, R3 a R4. A partir de um Modelo Digital do Terreno geraram os mapas de ângulo, aspecto e curvatura da encosta e área de contribuição e calculada a Freqüência de Distribuição destas classes. Posteriormente, estes mapas foram correlacionados com o mapa de risco, gerando-se dois novos índices: Concentração de Risco e Potencial de Risco. Os resultados demonstram a existência de 14 setores de risco, sendo as áreas mais suscetíveis aquelas localizadas em ângulos acima de 17°, orientadas para os quadrantes sul, com formas retilíneas e nos locais de maior área de contribuição.

A bacia do Paranhana, apresentou 3 escalas de perigo, sendo que as áreas de perigo alto devem ser acompanhadas pelas autoridades, principalmente nos municípios de Três Coroas e Igrejinha, visto que são áreas instáveis, principalmente pela alta declividade e pela ocupação desordenada. A ocupação das encostas nessa região é algo tão comum que passa despercebido pelas autoridades, no entanto vale salientar que essas áreas de risco compreendem apenas o risco aos movimentos de massa, e não ao risco de inundação que é outro desastre natural que assola a região frequentemente.

Futuros deslizamentos podem afetar não somente a população local, mas também turistas, e demais pessoas que utilizam as vias de acesso localizadas nos municípios da bacia, visto que algumas das ocorrências de deslizamentos estão próximas das estradas - em alguns casos são inclusive o seu agente deflagrador - (figura 30), e podem atingir o fluxo de pessoas que utilizam a rodovia, que é um número considerável devido ao caráter turístico dos municípios da região, como Igrejinha, Três Coroas, Gramado e Canela.



Figura 30 – Deslizamento de terra em borda de rodovia, entre os municípios de Gramado e Três Coroas.

Fonte: Trabalho de campo realizado em 17/11/2011.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Muito poucos estudos foram realizados nessa porção da bacia do rio dos Sinos, o que acarreta numa carência de dados referente a movimentos de massa na bacia. A existência de dados referentes a esses desastres se constitui como uma das maneiras de se conhecer a gênese e o desenvolvimento desses fenômenos para assim, estabelecer medidas preventivas de redução dos danos.

Uma das principais dificuldades identificadas durante o trabalho é o difícil acesso aos lugares de ocorrência de deslizamentos, devido à alta declividade e a má-conservação de algumas estradas que prejudica o auxílio das equipes durante o atendimento das ocorrências e também o levantamento de dados.

Conclui-se que a declividade é um dos grandes fatores desestabilizadores causadores de movimentação de massa em toda a área de estudo. Ainda mais quando aliado ao fator pluviométrico e geomorfológico. Isso porque o que ocorre é uma combinação das características físicas da área, somadas a modificação antrópica da encosta, que leva a movimentação, grande parte dos deslizamentos ocorreram sobre a linha de escarpa, que é caracterizada por uma grande declividade. Nesse aspecto, a metodologia utilizada se mostrou eficaz em identificar padrões de ocorrência, no entanto em estudos futuros, mais variáveis devem ser utilizadas, tais como vegetação, solos e geologia.

O mapa de áreas suscetíveis a movimentos de massa em áreas urbanas contribuiu para identificar as áreas onde existe a suscetibilidade a futuros movimentos de massa, principalmente nos municípios de Igrejinha e Três Coroas que atualmente são os municípios mais atingidos por deslizamentos na bacia do Paranhana.

Percebe-se também que outro grande causador das ocorrências de movimentos de massa na bacia é a ocupação das encostas, algumas vezes irregular e outras não. As encostas estão incluídas na legislação ambiental, como áreas sob proteção ambiental e com restrição à ocupação. No entanto o que se vê é que a legislação é pouco conhecida e pouco difundida entre as prefeituras de cidades pequenas, além de que a proibição, sem alguma

espécie de compensação se mostra ineficaz, e isso somado à falta de fiscalização, só torna mais fácil a ocupação dessas áreas.

Baseado nas diversas metodologias e bibliografias pesquisadas percebe-se que não se pode afirmar com certeza que apenas uma característica é responsável pela ocorrência de movimentos de massa, mas sim que é necessário uma integração e análise de diversas variáveis para se ter uma análise mais precisa das áreas suscetíveis a movimentos de massa.

Um desses fatores e que é essencial ser analisado são as ocupações humanas, pois além de serem os principais afetados, são em alguns casos também, um dos fatores responsáveis pelo deflagramento dos movimentos de massa, ao ocupar áreas com alta declividade, promover cortes no solo e aterros instáveis para a construção de moradias e estradas de acesso, além da deposição de resíduos sólidos, ausência de drenagem de águas pluviais e retirada da cobertura vegetal.

Os municípios da bacia do Paranhana ainda estão incipientes em sua ocupação, são cidades pequenas com poucos moradores, no entanto possuem poucas áreas para a ocupação regular, o que causa cada vez mais e com mais frequência os movimentos de massa. A tendência é de que os municípios se expandam cada vez mais, e que essas ocorrências aumentem a cada ano.

Pretende-se fornecer material de apoio aos órgãos gestores do município, no entanto, a utilização de cartas e mapas de risco deve ser utilizada e atualizada frequentemente, visto que o ambiente é dinâmico e as ocupações e modificações no espaço também.

Segundo Bonduki (2005) as cidades têm condições de planejar seu futuro, reduzir as desigualdades, promover um adequado uso do solo, evitando desastres ambientais. Neste sentido, o poder público deverá intensificar a fiscalização da aplicação das leis, para que não se transformem em meras formalidades que não saem do papel. Com atitudes mais objetivas e que demonstrem maior interesse dos órgãos públicos em relação aos desastres naturais, poderemos futuramente, além de evitar perdas humanas, economizar em ações reparadoras aos cofres públicos e ainda por cima proteger o meio ambiente aliando a informação com a técnica.

8. REFERÊNCIAS

AB'SÁBER A.N. **Províncias geológicas e domínios morfoclimáticos no Brasil.** São Paulo: Inst. Geogr. USP, Geomorfologia, n. 15.1969, 15p.

ALBUQUERQUE, P. C. G. **Desastres naturais e geotecnologias: GPS - caderno didático nº 3.** São José dos Campos: INPE, 2008. v. 3, 28 p. (INPE-15395-PUD/201). Disponível em:<<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtcm18@80/2008/11.19.17.41>>. Acesso em: 13 jul. 2011.

AMORIM, R. R.; OLIVEIRA, R. C. **As Unidades de Paisagem como uma Categoria de Análise Geográfica: O Exemplo do Município de São Vicente-SP.** Revista Sociedade & Natureza, Uberlândia, v. 20 (2): p. 177-198, 2008.

AMORIM, R. R.; OLIVEIRA, R. C. **Análise Geoambiental dos Setores de Encosta da Área Urbana de São Vicente-SP.** Revista Sociedade & Natureza, Uberlândia, v. 19 (2): p. 123-128, 2007.

AUGUSTO FILHO, O.; CERRI, L.E.S. **Programa Serra do Mar: Carta geotécnica da Serra do Mar nas folhas de Santos e Riacho Grande.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas.1988. 49p.

BAPTISTA, A. C. **Análise da Paisagem e Identificação de Áreas Suscetíveis a Movimentos de Massa na APA Petrópolis – RJ: Subsídio ao Planejamento Urbano.** Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa - MG, 110p, 2005.

BAPTISTA, A. C.; CALIJURI, M. L.; SCHAEFER, C. E. G. R.; MARQUES E. A. G. **Suscetibilidade das Áreas de Risco a Movimentos de Massa na APA Petrópolis-RJ,** Revista Natureza & Desenvolvimento, v. 1, n. 1, p. 51-58, Viçosa, MG, 2005

BARBIERI, D. W.; FERREIRA, C. C.; SAITO, S. M.; SAUSEN, T. M.; HANSEN, M. A. F. **Relação entre os desastres naturais e as anomalias de precipitação para a região Sul do Brasil.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 3527-3534. DVD, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. (INPE-15824-PRE/10434). Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.18.10.30>>. Acesso em: 13 jul. 2011.

BAUER, T.; STEINNOCHER, K. **Per-parcel land use classification in urban areas applying a rule-based technique.** Geobit, n 6, p. 24-27. June, 2001.

BAZZAN, T; ROBAINA, L, E de S.; PIRES, C. A. **Mapeamento de unidades geológico-geomorfológicas da Bacia Hidrográfica do Arroio. Curuçu-RS.** VI Simpósio Nacional de Geomorfologia: Geomorfologia Tropical e Subtropical, processos, métodos e técnicas. Goiânia-GO, setembro 2006.

BIGARELLA, J. J, *et al.* **Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais**. Vol.3, Cap.8, Editora da UFSC. Florianópolis, 2003, p.1026-1098.

BISPO, P. C.; ALMEIDA, C. M.; VALERIANO, M. M.; MEDEIROS, J. S. CREPANI E. **Avaliação da suscetibilidade aos movimentos de massa na região de São Sebastião-SP com o uso de técnicas de geoprocessamento**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 3583-3590. DVD, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. (INPE-15824-PRE/10434). Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.16.07.45/doc/3583-3590.pdf>>. Acesso em: 31 out. 2011.

BLASCHKE T.; KUX H. **Sensoriamento Remoto e SIG Avançados: novos sistemas sensores métodos inovadores**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

BLOOM, A. **Superfície da Terra**. S. Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 1970. 184p.

BONDUKI, N. **Sem erros do Passado**. Jornal Folha de São Paulo, 28 de abril de 2005.

BRAGA, T. M; et al. **Avaliação de metodologias de mensuração de risco e vulnerabilidade social a desastres naturais associados à mudança climática**. Anais... XV Encontro Nacional de Estudos Populacionais, ABEP, Caxambu, 2006. Disponível em:<www.abep.nepo.unicamp.br/encontro2006/.../ABEP2006_204.pdf> Acessado em: 13 jul. 2011

BRASIL. **Lei Federal Nº. 6.766. Parcelamento do solo urbano**; Promulgada em 19 de Dezembro de 1979.

_____. Ministério das Cidades / Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios** / Celso Santos Carvalho, Eduardo Soares de Macedo e Agostinho Tadashi Ogura, organizadores – Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007, 176p.

_____. Ministério da Integração Nacional. **Manual de Desastres. Vol. I**. Brasília: 2003.

BREUNING, F. M.; BOURSCHEIDT, V.; PINTO JUNIOR, O.; MINUSSI, J. P.; SCHUCH, N. J. **Uso de Informação Sobre Relâmpagos para o Monitoramento e Previsão de Eventos Atmosféricos**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRAFICA/UFS, 5., , Aracajú - SE. **Anais...** 2004. p. 1-9. Papel. (INPE-11839-PRE/7186). Disponível

em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/marciana/2005/01.03.09.43>>. Acesso em: 13 jul. 2011.

BUENO, L. S.; LAPOLLI, E. M.; LAPOLLI, F. R. **Estudo em Áreas de Ocupação Urbana com Fatores de Risco: O Caso do Bairro Córrego Grande – Florianópolis – SC.** In: XXVIII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Cancun-Mexico, octubre 2002.

CÂMARA, G.; CASANOVA, M.A.; HEMERLY, A.S.; MAGALHÃES, G.C.; MEDEIROS, C.M.B. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica.** São José dos Campos: INPE. Campinas: IBM Brasil/ CPqD-Telebrás/Unicamp, 1996. 193p

CARVALHO, C. M. **Avaliação da Suscetibilidade aos Movimentos de Massa nos Entornos dos Polidutos de Cubatão (SP), com o Apoio de Técnicas de Geoprocessamento.** Trabalho de Graduação (Geologia). UNESP - Rio Claro, 2003.

CASSETI, V. **Ambiente e apropriação do relevo.** São Paulo: Contexto, 1991. 147p.

_____. **Geomorfologia.** [S.l.]: [2005]. Disponível em: <<http://www.funape.org.br/geomorfologia/>>. Acesso em: 12 de setembro de 2011.

CASTRO, S.D.A. de. **Riesgos y peligros: una visión desde la Geografía.** Scripta Nova. Revista Electronica de Geografía y Ciencias Sociales. Universidad de Barcelona. Nº 60, 2000.

CASTRO, J. F. M. **Mapa Morfodinâmico: Uma Abordagem Metodológica de Uso de Sistema de Informação Geográfica (SIG).** Revista Geociências, UNESP, Rio Claro- SP, v. 17(n.1): p.161-185, 1998.

CAVALCANTI, R.L.S; ANDRADE, P.C.L; FERREIRA R.C; SILVA R.G; CARVALHO J.A.R. **Lagoa Encantada: causas e conseqüências dos movimentos de massa, um exemplo na periferia do Recife/PE** In: VIII SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 2010, Recife. **Anais...** Recife-Pernambuco/UFPE, 2010. p. 1-12.

CHRISTOFOLETTI, A., **Geomorfologia.** São Paulo, Brasil. Editora Edgard Blücher. 1980. 188p.

_____. **Modelagem de Sistemas Ambientais.** São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1999.

CPRM, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Relatório de Vistoria em áreas de Risco no município de Rolante/RS.** Porto Alegre/RS, agosto de 2010

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. de; AZEVEDO, L. G. de; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V. **Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico**. São José dos Campos: INPE, 1996. 24 p. Metodologia desenvolvida para subsidiar o Zoneamento Ecológico - Econômico e capacitar os técnicos dos estados da Amazônia Legal (Convenio SAE/INPE). (INPE 6145-PUD/82). Disponível em: <<http://mtcm12.sid.inpe.br/rep-/sid.inpe.br/sergio/2004/05.13.15.34>>. Acesso em: 11 maio 2010.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao estudo de movimentos de massa no Município de Caraguatatuba - SP**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10. (SBSR), 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2001. p. 931-933. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00016-1. (INPE-8300-PRE/4090). Disponível em:<<http://urlib.net/dpi.inpe.br/lise/2001/09.19.12.45>>. Acesso em: 13 jul. 2011.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A.T. - **A questão ambiental: Diferentes abordagens**. 4ª edição, Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2008.

CUNHA, S.B.; GUERRA, A.J.T. (2006) Degradação Ambiental. In: Guerra, A.J.T. & Cunha, S.B. (Orgs.). **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 6. ed. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil. p. 337-379.

_____; **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 3º Ed. - Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996, 372p

DAL'ASTA, A. P.; RECKZIEGEL, B. W.; ROBAINA, L. E. S **Análise de Áreas de Risco Geomorfológico em Santa Maria-RS: O Caso do Morro Cechela**. In: XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. 2005. São Paulo: Anais... São Paulo: USP, 2005, p. 896-905.

DANTAS, M. E.; GOULART, D. R.; JACQUES, P. D.; ALMEIDA, I. S.; KREBS, A. S. J. 2005. **Geomorfologia aplicada à Gestão Integrada de Bacias de Drenagem: Bacia do Rio Araranguá (SC), Zona Carbonífera Sul-Catarinense**. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 16., 20 - 24 nov. 2005, João Pessoa, PB., Anais... João Pessoa, PB: ABRH, 2005. 74p. CD Rom.

DE BIASI, M. **A carta clinográfica: os métodos de representação e sua confecção**.1996.

DEFESA CIVIL RS. **Consulta a dados de ocorrências de desastres naturais no estado do Rio Grande do Sul**. Disponível em <http://www.defesacivil.rs.gov.br/consulta_convenios.html> Acesso em: 21/08/2011

ÉGAS, H. M.; FLORES, J. A. A.; PELLERIN, J. R. G. M. **Análise de Áreas de Risco a Movimentos de Massa: Rua União da Vitória, Valparaíso,**

Blumenau, SC. In: VIII Simpósio Nacional de Geomorfologia, III Encontro Latino Americano de Geomorfologia, I Encontro Ibero Americano de Geomorfologia e I Encontro Ibero-Americano do Quaternário, 2010, Recife, PE. 2010.

ETTER, A., **Introducción a la Ecología del Paisaje, un Marco de Integración para los Levantamientos Rurales.** Bogotá: 1990. 83 p. Em Aguilar e Mendoza, 2002.

FARIA, R. ROCHA, G.C. ZAIDAN, R.T. **A Eficácia de Previsões de Ocorrência de Movimentos de Massa em Juiz de Fora – MG.** In: XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física e Aplicada, Universidade Federal de Viçosa, Anais... Viçosa, MG, julho de 2008.

FELIPPE, M.; UMBELINO, G. **Movimentos de massa e vegetação: o sensoriamento remoto como procedimento metodológico no estudo dos processos de vertente.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR), 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 5215-5218. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.23.39>>. Acesso em: 13 jul. 2011.

FEPAM **.Bacia hidrográfica do Rio dos SINOS.** Disponível em <http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/qualidade_sinos/sinos.asp> Acesso em março de 2012.

_____ / DPD, **Qualidade dos recursos hídricos superficiais da bacia do Guaíba - subsídio para o processo de Enquadramento.** Simpósio Internacional sobre Gestão de Recursos Hídricos. Gramado. 1998

FERREIRA, J.I.S.; HENRIQUE, F.M.; TUMA, L.S.R. **Geomorfologia Ambiental aplicada ao estudo dos movimentos de massa da Serra do Espinho, Pilões – PB.** In: XIII Simpósio Nacional de Geografia Física e Aplicada, 2009, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 2009. Disponível em: <http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/resumos_expandidos/eixo9/001.pdf> Acesso em: 3 out. 2011.

FORSTER, B.C. **An examination of some problems and solutions in urban monitoring from satellite platforms.** International Journal of Remote Sensing, 6(1): pp.139-151, 1994.

FURLAN, M. C.; LACRUZ, M. S. P.; SAUSEN, T. M. **Vulnerabilidade socioeconômica à ocorrência de eventos extremos: proposta metodológica.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15. (SBSR), 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p. 4540-4546. DVD, Internet. ISBN 978-85-17-00056-0 (Internet), 978-85-17-00057-7 (DVD). Disponível em: <<http://urlib.net/3ERPFQRTRW/3A3P672>>. Acesso em: 13 jul. 2011.

GOMES, G. J. C.; SOBREIRA, F. G.; CASTRO, J. M. G. **Uso de técnicas de geoprocessamento no zoneamento de áreas de risco de escorregamento em Ouro Preto - MG.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR), 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 2681-2688. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. Disponível em:<<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.15.17>>. Acesso em: 13 jul. 2011.

HURST, V.J. **Mapeamento de saprolito.** Tradução de J. Oswaldo de Araujo Filho. (s.e), Georgia, 1975

IPCC. Climate Change 2007: **Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability.** Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for policymakers - Brussels – April, n. 23, 2007

JULIÃO, R.P.; NERY, F.; RIBEIRO, J.L.; BRANCO, M.C.; ZEZERE, J.L. **Guia Metodológico para a produção de Cartografia Municipal de Risco e para Criação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) de base municipal.** 2009

KOBIYAMA M.; MENDONÇA M.; MORENO D. A.; MARCELINO I. P. V. O.; MARCELINO E. V.; GONÇALVES E. F.; BRAZETTI L. L. P.; GOERL R. F.; MOLLER G. S. F.; RUDORFF F. M. **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos.** Curitiba: Ed. Organic Trading , 2006. 109p. : il. ISBN – 85-87755-03-X.

KOZCIAK, S. **Análise Determinística da Estabilidade de Vertentes na Bacia do Rio Marumbi – Serra do Mar – Paraná.** Tese (Doutorado em Geologia Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

LIMA, A. B.; TOLEDO FILHO, M. R. **Expansão Urbana em Áreas Vulneráveis a deslizamentos de solo na cidade de Maceió – Alagoas.** In: VIII Simpósio Nacional de Geomorfologia. 2010. Recife - Pernambuco: Anais... UFPE: UFPE, 2010, p. 1-12.

LIMA, E.C. **Análise espaço-temporal do uso e ocupação do solo da bacia do rio dos Sinos/RS.** Trabalho de Graduação, Curso de Geografia Bacharelado/UFRGS, 2011.

LIMA, S. T.; SOUZA, J. B.; **Geoprocessamento e análise ambiental: susceptibilidade a movimentos de massa.** In: XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física e Aplicada. 2009. Viçosa – Minas Gerais disponível em <http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos_completos/eixo_086.pdf> Acesso em: 31 out. 2011.

LISTO, F. L. R.; VIEIRA, B. C. **Análise de Condicionantes Topográficos como Subsídio para Avaliação de Áreas de Risco a Escorregamentos Rasos.** In: VIII Simpósio Nacional de Geomorfologia. 2010. Recife -

Pernambuco: Revista SINAGEO Volume 3... UFPE: UFPE, 2010, p. 174 – 187.

LOPES, E. S. S.; RIEDEL, P. S.; BENTZ, C. M.; FERREIRA, M. V. **Calibração e validação do índice de estabilidade de encostas com inventário de escorregamentos naturais na bacia do Rio da Onça na região da Serra de Cubatão - SP.** Geociências, v. 26, n. 1, p. 83-95, 2007. Disponível em: <http://jasper.rc.unesp.br/revistageociencias/26_1/Art%20Eymar.pdf>. Acesso em: 13 jul. 2011.

MAGNA ENGENHARIA. **Simulação de uma proposta de Gerenciamento para a bacia dos Sinos.** Relatório Final. Porto Alegre: Governo do Estado do Rio Grande do Sul. 1996.

MARCELINO, E. V.; FORMAGGIO, A. R. **Análise comparativa entre métodos heurísticos de mapeamento de áreas susceptíveis a escorregamentos.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 2004, Florianópolis. Anais... Florianópolis> GEDN/UFSC, 2004. P. 392-407. (CD-ROM)

MARCELINO, E. V. **Mapeamento de áreas susceptíveis a escorregamentos no município de Caraguatatuba (SP) usando técnicas de sensoriamento remoto.** São José dos Campos/SP: 2003. 228p. – (INPE-12146-TDI/970).

MATEDI, M.A.; BUTZKE, I.C.; **A relação entre o social e o natural das abordagens de hazards e de desastres.** Ambiente e Sociedade. Ano IV. N 9 .2001

MIKOSIK, A.P.M., PAULA, E.V., SANTOS, L.J.S. **Influência da Curvatura das Vertentes na Ocorrência de Escorregamentos Translacionais na Sub-Bacia do Rio Sagrado (Morretes/PR).** In. VIII Simpósio Nacional de Geomorfologia. 2010. Recife - Pernambuco: Revista SINAGEO Volume 2... UFPE: UFPE, 2010, p. 1 – 11.

MOLINARI, D.C. **Dinâmica erosiva em cicatrizes de movimentos de massa – Presidente Figueiredo (Amazonas).** Dissertação de Mestrado em Geografia. Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal de Santa Catarina (PPGG/UFSC). Florianópolis, 2007.

MONGUILHOTT, M. **Estudo de áreas suscetíveis a movimentos de massa na rodovia RS/486 – Rota do Sol/RS,** Dissertação de Mestrado. CEPSSRM/UFRGS, Porto Alegre. 2008.

MUNOZ, V. A.; ALMEIDA, C. M.; VALERIANO, M. M. **Técnicas de Inferência Espacial na Identificação de Unidades de Suscetibilidade aos Movimentos de Massa na Região de São Sebastião, São Paulo, Brasil.** In: XII SIMPOSIO INTERNACIONAL EN PERCEPCIÓN REMOTA Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA - SELPER, Cartagena, Colombia. Anais... 2006. v. 1, p. 2.25. CD-ROM. ISBN 978-85-88454-11-8. Disponível em:

<http://www.selper.org.co/v1/index.php?option=com_content&task=view&id=12&Itemid=9>. Acesso em: 14 mar. 2011.

NASCIMENTO, M. A. L. S. **Erosões urbanas em Goiânia**. Boletim Goiano de Geografia, v. 14, n. 1, p. 77-101, 1994. Disponível em: <www.revistas.ufg.br/index.php/bgg/article/download/4334/3798>. Acesso em: 07 nov. 2011.

NUMMER, A. V. **Parâmetros geológicos-geotécnicos controladores dos movimentos de massa na Rota do Sol/RS/486 – Itati, RS/Andréa Nummer – Porto Alegre:PPGEC/UFRGS, 2003**

PAES, F.C. **Um Estudo Exploratório de Classificação Digital de Áreas Urbanas Utilizando Imagens de Alta Resolução do satélite IKONOS – Dissertação de Mestrado – Belo Horizonte, PUCMINAS, 2002. 160.**

PARDI LACRUZ, M. S.; SOUZA FILHO, M. A. **Desastres naturais e geotecnologias - Sistemas de Informação Geográfica - caderno didático nº 4**. São José dos Campos: INPE, 2009. v. 4, 32 p. (INPE-15751-PUD/206). Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2009/05.18.18.24>>. Acesso em: 13 jul. 2011.

PENTEADO, M.M. **Fundamentos de geomorfologia**. Rio de Janeiro: Fundação IBGE, 1974.

PROSINOS, **Caracterização Socioambiental da região da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos**. 2010. Disponível em: <http://www.portalprosinos.com.br/altas/conteudo_saofrancisco.php?id=geociencias_saofrancisco> Acesso em: 24/10/2010.

RECKZIEGEL, B.W.; ROBAINA, L.E.S.; OLIVEIRA, E.L.A. **Mapeamento de Áreas de Risco Geomorfológico nas Bacias Hidrográficas dos Arroios Cancela e Sanga do Hospital, Santa Maria – RS**. Geografia. Revista do Departamento de Geociências v.14, n.1, 2005. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/geografia/V14N1/artigo01.pdf>>, acesso em 25/08/2011.

RECKZIEGEL, E. W.; **Identificação e mapeamento das áreas com perigo de movimento de massa no município de Porto Alegre, RS**. Dissertação de Mestrado, PPGGEA, IG/UFRGS, Porto Alegre, 2012.

RIBEIRO, R. R.; ARIGONY-NETO, J.; MENDES JÚNIOR, C. W.; SIMÕES, J. C.; RAMIREZ, E. **Aplicação do satélite CBERS-2B na identificação de zonas de risco nos Andes Centrais**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 2127-2132. DVD, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.18.02.37>>. Acesso em: 13 jul. 2011.

RIEDEL, P. S.; FERREIRA, M. V.; GOMES, A. R. LOPES, E. S. S.; MERINO, E. R. **Análise Multitemporal de Cicatrizes de Escorregamento Baseado em Dados Multi Sensores**. In: I Semana de Geotecnologias, Rio Claro, SP, Brasil ISSN 1984 – 3208, Outubro de 2008. Disponível em: <<http://ceapla.rc.unesp.br/semageo/index.php/ceapla/geotec/paper/viewFile/6/15>> Acesso em: 11 maio 2010

ROCHA, G. C. **Riscos Ambientais: análise e mapeamento em Minas Gerais**. Juiz de Fora: Editora UFJF, 2005.

ROSSETTO, L. L. **Uso de geotecnologias para análise de eventos extremos no Estado do Paraná - Período de 2000 a 2008**. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO INPE (SICINPE), 2010, São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2010. p. 61. CD-ROM; Papel; On-line. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/38A2JD2>>. Acesso em: 13 jul. 2011.

ROSS, J. L. S. **O registro cartográfico dos Fatos Geomórficos e a Questão da Taxonomia do Relevo**, Rev. do Depto. Geografia, FFLCH-USP, São Paulo, n.6, p.17-29, 1992

SAITO, S. **Estudo analítico da suscetibilidade a escorregamentos e quedas de blocos no maciço central de Florianópolis - SC**. Dissertação de mestrado. Departamento de Geociências da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 2004, 133p.

SANTOS, P.; LIMA, A. MOURA, R. **Cartografia de susceptibilidade de Movimentos de Massa em Canelas – Penafiel**. In: A importância do SIG na gestão dos recursos geológicos e mitigação dos riscos geológicos naturais e tecnológicos. 2008. Lisboa – Portugal. **Anais...** Disponível em: <http://e-geo.ineti.pt/aipt_seminar/sig/posters/psantos.pdf> Acesso em: 03 nov. 2011.

SAUSEN, T. M. **Desastres naturais e geotecnologias - sensoriamento remoto - caderno didático nº 2**. Santa Maria: [s.n.] 2008. v. 2, 38 p. (INPE-15327-PUD/199). Disponível em:<<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2009/06.03.14.25>>. Acesso em: 13 jul. 2011.

SCHEIBE, L. F.; BUSS, M. D.; FURTADO, S. M. de A. (Orgs.) **Atlas ambiental da Bacia do Rio Araranguá, Santa Catarina, Brasil**. Florianópolis: UFSC;Cidade Futura, 2010. 64 p

SCHEUREN, J.M.; POLAIN DE WAROUX, O.; BELOW, R.; GUHA-SAPIR, D.; PONSERRE, S., et al. **Annual Disaster Statistical**. In: Review The Numbers and Trends 2007.

SELBY, M. **Earth's changing surface: an introduction to geomorphology**. New York: Oxford University Press, 1985.

SEMA-MT. **Roteiro de Normas e Procedimento para o cadastro ambiental rural**. Governo do Estado do Mato Grosso, Mato Grosso, Cuiabá, 2ª edição, 2009.

SESTINI, M.F.; FLORENZANO, T.G. **Caracterização de cicatrizes de deslizamentos por processamento de dados TM LANDSAT em Caraguatatuba – SP.** Revista Geologia USP. São Paulo, v. 4, n. 2, p. 57-69, outubro 2004.

SESTINI, M. F. **Variáveis geomorfológicas no estudo de deslizamento em Caraguatatuba - SP utilizando imagens TM-Landsat e SIG.** 1999. 140 p. (INPE-7511-TDI/724). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Jose dos Campos. 1999. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/deise/2000/04.27.16.25>>. Acesso em: 11 maio 2010.

SILVA, T. I.; RODRIGUES, S.C. **Tutorial de Cartografia Geomorfológica, ARCGIS 9.2 e ENVI 4.0.** Manuais Técnicos – Rev. Geogr. Acadêmica, v.3, n.2 (xii.2009) ISSN 1678-7226. Uberlândia, 2009. 65 p.

SILVEIRA, C. T.; FIORI, A. P.; FIORI, C. O. **Estudo das Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Potencial na APA de Guaratuba: Subsídios para o planejamento ambiental.** Boletim Paranaense de Geociências, n. 57, p. 9-23, Editora UFPR, 2005.

SOBREIRA, F.S. **Suscetibilidade a processos geológicos e suas conseqüências na área urbana de Mariana, MG.** Revista Geobr. 2001

SOARES, P. C.; SOARES, A. P.; FIORI, A. P. **Raciocínio probabilístico aplicado à suscetibilidade de escorregamentos: um estudo de caso em Campo Largo, Paraná, Brasil.** Boletim Paranaense de Geociências, v. 50, p. 61-76, 2002.

SPÓSITO, C. C.; BUENO, G. T.; LOBO, C. F. F.; SOUZA J. B. **Estrutura de rochas Metassedimentares e Vulnerabilidade aos Movimentos de Massa - Bacia do Córrego do Cercadinho, Belo Horizonte - MG.** In: VIII Simpósio Nacional de Geomorfologia. 2010. Recife - Pernambuco: Anais... UFPE: UFPE, 2010, p. 46-58.

STRAHLER, A.; STRAHLER, A. **Modern physical geography.** 4th. ed. New York: John Wiley & Sons, 1992.

TEIXEIRA, S. T.; SOUZA, J. B. **Geoprocessamento e análise ambiental: susceptibilidade a movimento de massas.** In: XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física e Aplicada. Universidade Federal de Viçosa. Disponível em:<http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos_completos/ixo1/086.pdf>. Acesso em: 12 maio 2010.

TOBIN, G. A; MONTZ, B. E. **Natural Hazards: explanation and investigation.** New York: The Guilford Press, 1997. 388p.

TROEH, F. R. **Landform equations fitted to contour maps.** American Journal of Sciences (263):616-627, 1965.

UNDP – UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME. **Reducing disaster risk: a challenge for development**. New York, USA: UNDP, 2004. 129p.

VANACÔR, R. N. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento aplicados ao mapeamento das áreas susceptíveis a movimentos de massa na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul**. Dissertação de Mestrado. CEPSSRM/UFRGS, Porto Alegre. 2006.

VIEIRA, S.F. **Análise e Mapeamento das Áreas Suscetíveis a Movimentos de Massa no Setor Central da Serra da Esperança, na divisa entre os Municípios de Guarapuava e Prudentópolis – PR**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geociências, UFSC, Florianópolis. 2008

WERLANG, M. K.; REICHERT, J. M.; RAFFAELLI, J. A.; CAMPONOGARA, I. **Modelado do relevo do setor sudoeste do município de São Pedro do Sul – RS**. Revista Ciência e Natura, UFSM, Santa Maria-RS, v. 27 (1): p. 29-44, 2005.

ZAIDAN, R. T., FERNANDES, N. F. **Zoneamento de susceptibilidade a escorregamentos em encostas aplicado à bacia de drenagem urbana do córrego do Independência - Juiz de Fora (MG)**. Revista Brasileira de Geomorfologia, UFSM, São Paulo-SP, v. 10 (2): p. 57-76, 2009.

ZUQUETTE, L.V.; PEJON, O.J. **Eventos perigosos geológico-geotécnicos no Brasil**. In: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais. 2004. Florianópolis. Anais. UFSC, 2004

9. ANEXOS

Lista de pontos de ocorrências de movimentos de massa ocorridos na bacia hidrográfica do Paranhana-RS entre os anos de 2010 e 2011.

Gramado			
Ponto	Latitude	Longitude	Descrição
01	-29.428685°	-50.850498°	Movimento de massa ocorrido nas proximidades da RS 115, possivelmente pelo corte no solo, local de baixa declividade, possibilidade de queda de blocos na estrada.
02	-29.409665°	-50.871637°	Movimento de massa ocorrido ao lado de uma indústria de grande porte, próxima da RS-115, área de alta declividade.
Igrejinha			
03	-29.538753°	-50.765466°	Movimento de massa ocorrido próximo de uma indústria cervejeira, na divisa entre Três Coroas e Igrejinha. Área de alta declividade, solo pouco espesso e grande densidade vegetal. Não possui residências próximas.
04	-29.539708°	-50.782038°	Movimento de massa ocorrido nos fundos de uma escola. Apresenta alta declividade, solo raso e alta densidade vegetal, não apresenta risco atualmente.
05	-29.539756°	-50.783693°	Ponto localizado próximo da escola. Área de alta declividade, possui algumas residências próximas, mas é de baixo risco devido a um muro de contenção construído para evitar novos deslizamentos.
06	-29.560001°	-50.805342°	Área considerada de risco, pois contém grande quantidade de moradias próximas além de alta declividade, fraturas no terreno e árvores inclinadas.
07	-29.568806°	-50.810838°	Área de risco, com grande quantidade de residências e

			alta declividade. Bairro Bom Pastor.
08	-29.579164°	-50.789653°	Área de ocupação irregular localizada dentro de uma saibreira desativada da prefeitura. Existe o risco de queda de blocos.
09	-29.579589°	-29.579589°	Movimento de massa de grande porte, que atingiu 6 residências, sendo que ainda existe risco, devido à alta declividade, e à cicatriz do deslizamento anterior.
10	-29.579893°	-50.797526°	Deslizamento de pequeno porte, localizado nos fundos de uma residência no centro de Igrejinha.
Parobé			
11	-29.613885°	-50.837636°	Área com densa ocupação e presença de solo em degraus de abatimento.
12	-29.618491°	-50.825791°	Área de alta declividade, e diversos casos de corte no solo para construção de residências, uma casa desmoronou devido à instabilidade do solo.
13	-29.619482°	-50.837918°	Área de risco, com residências construídas próximas a cortes no solo de grandes proporções. Alta declividade, e residências com baixo padrão construtivo.
14	-29.620669°	-50.822036°	Área de risco com residências construídas com baixo padrão construtivo, presença de rastejo, indicado por árvores e postes inclinados. Localizado em uma das partes mais altas do município.
15	-29.628707°	-50.839213°	Área de alta declividade, com processos de rastejo e piping, residência próxima de um grande bloco de rocha.
16	-29.623083°	-50.841236°	Localizado no bairro Planaza, área de média ocupação e alta declividade.
17	-29.634170°	-50.843156°	Área de risco localizada no bairro Guarani, presença de

			árvores inclinadas, forte processo de erosão, e alta declividade, grande quantidade de moradias, com algumas interditadas, além de uma escadaria construída pela prefeitura para facilitar o acesso dos moradores.
Taquara			
18	-29.671167°	-50.779174°	Ponto localizado próximo a uma indústria metalúrgica, onde ocorrem pequenos deslizamentos, ocasionados provavelmente pelo aterro onde a indústria está localizada.
19	-29.639575°	-50.778978°	Área de risco localizada no morro da cruz, alta declividade e ocupação de baixo padrão construtivo, que aumenta a vulnerabilidade da área.
Três Coroas			
20	-29.536385°	-50.770416°	Movimento de massa circular próximo da RS-115, ocorrido provavelmente pelos cortes realizados no terreno para construção de residências.
21	-29.523660°	-50.772003°	Movimento de massa ocorrido em área de alta declividade, com construções irregulares e diversos cortes no solo para construção de moradias.
22	-29.506981°	-50.765006°	Área afastada, com pouca intervenção antrópica, tendo apenas uma residência construída, densa vegetação e alta declividade, o ponto é estimado, devido à densa vegetação.
23	-29.495382°	-50.773083°	Deslizamento ocorrido nas margens do Rio Paranhana em local de grande talude, onde uma residência foi construída sobre a margem de erosão do rio, que foi destruída pelo solapamento do rio.
24	-29.484572°	-50.798927°	Área de ocorrência de movimento de massa, com

			alta declividade, solo raso e densa ocupação. Ocupação inicialmente irregular, agora regularizada pela prefeitura.
25	-29.468337°	-50.737118°	Área onde ocorreu movimento de massa do tipo corrida de massa, local de pouca alteração antrópica, exceto por uma estrada de terra. Presença de alta declividade, e densa vegetação, além de um trecho de drenagem por onde ocorreu a corrida de detritos, que interrompeu parcialmente a estrada.