

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Mapeamento das áreas suscetíveis a deslizamentos no perímetro
urbano de Igrejinha - RS

Patrícia de Almeida Martins

Porto Alegre

2013

PATRÍCIA DE ALMEIDA MARTINS

**MAPEAMENTO DAS ÁREAS SUSCETÍVEIS A DESLIZAMENTOS
NO PERÍMETRO URBANO DE IGREJINHA - RS**

Dissertação de mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia. Orientação: Ph. D. Luiz Antonio Bressani.

Porto Alegre

2013

PATRÍCIA DE ALMEIDA MARTINS

**MAPEAMENTO DAS ÁREAS SUSCETÍVEIS A DESLIZAMENTOS
NO PERÍMETRO URBANO DE IGREJINHA, RS**

Esta dissertação de mestrado foi julgada adequada para obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA, Meio Ambiente, e aprovada em sua forma final pelo professor orientador e pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 30 de setembro de 2013.

Prof. Luiz Antonio Bressani

Ph. D. pelo Imperial College, University of London
Orientador

Prof. Miguel Armando Awruch

Coordenador do PPGEC/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Prof. Laurindo Antonio Guasselli

Dr. pela Universidade do Rio Grande do Sul

Prof. Cezar Augusto Burkert Bastos

Dr. pela Universidade do Rio Grande do Sul

Prof. Washington Peres Núñez

Dr. pela Universidade do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho a minha família que sempre me apoiou e me entenderam nos momentos de maiores dificuldades.

AGRADECIMENTOS

Quero inicialmente dizer muito obrigado a minha família que compreendeu minhas ausências, meus maus humores, minhas depressões, e mesmo nestes momentos nunca me deixaram sozinha. Muito obrigado: Laura, Jaíne e Maurício.

Devo agradecer também ao meu orientador Prof. Luiz Antonio Bressani, que sempre com muita paciência, compreensão e ensinamentos que me orientaram para que o trabalho ficasse nesse formato.

Também gostaria de agradecer ao professor Henrich Hasenack e ao pessoal do Laboratório LABGEO/ UFRGS que tiveram a disponibilidade em me ensinar a utilizar a ferramenta de geoprocessamento.

Ao professor Laurindo Guasselli e Guilherme G. Oliveira do Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia pelo fornecimento das modelagens hidrológicas, bem como ao Eli A. Costa pelas sugestões pertinentes ao trabalho.

Agradeço ao grupo do GRID/UFRGS sempre simpáticos e dispostos a auxiliar na elaboração desta dissertação.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil pela valiosa contribuição na minha formação.

E por fim agradeço ao CNPQ pela bolsa de pesquisa concedida para a realização deste trabalho.

RESUMO

MARTINS, P. A. Mapeamento das áreas suscetíveis a deslizamentos no perímetro urbano de Igrejinha - RS. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

O presente trabalho analisou os problemas referentes aos processos de inundação e deslizamento de solo no município de Igrejinha. O entendimento destes eventos ocorridos no município viabilizou uma análise da região, propiciando a criação de diretrizes de ocupação urbana mais consistentes. Para que fosse possível alcançar esses objetivos, o trabalho fundamentou-se em pesquisas bibliográficas sobre geologia, geomorfologia e dados de Igrejinha e do Vale do Paranhana. Também foi realizada uma análise da ocorrência dos eventos de deslizamentos acontecidos no local, tornando possível o entendimento de seus condicionantes. A partir desses dados, foram elaborados mapas que mostram a situação do município em estudo no que tange à ocupação, inundação e deslizamentos de massa. A ferramenta que propiciou a construção dessas cartas foi o geoprocessamento, através do programa IDRISI, através do qual foram vetorizadas as cartas topográficas obtidas de um aerolevanteamento de 1989. Utilizando essas bases foi possível indicar as áreas com suscetibilidade a deslizamento e inundação e, assim, indicar requisitos para a atividade na área urbana, chegando-se inclusive a indicar as áreas de restrição de crescimento da área urbana, as quais apresentam problemas significativos com relação a deslizamentos.

Palavras-chaves: mapeamento urbano, deslizamentos e suscetibilidade.

ABSTRACT

MARTINS, P. A. Mapping of areas susceptible to landslides in the urban perimeter of Igrejinha - RS. 2013. MSc Dissertation – Department of Civil Engineering, UFRGS, Porto Alegre.

The present study examined the problems related to processes of flood and landslides in Igrejinha municipality. The knowledge of these events in the municipality allowed a better analysis of the region, resulting in more consistent urban guidelines for land occupation. To achieve these goals, the work was based on bibliographic research of geology, geomorphology and general data of Igrejinha municipality and Paranhana river valley. An analysis of the occurrence of landslide events which happened in the area was also carried out, making it possible the understanding of their conditioning factors. From these data were prepared maps that show the situation of the municipality under study regarding occupation, flooding and landslide movements. The tool that allowed the construction of these letters was the geoprocessing through the IDRISI program, by which were vectorized the topographic maps obtained from an aerial survey made in 1989. Using these informations was possible to indicate areas with susceptibility to landslide and flooding and thus infer requirements for activity in the urban area and there are some restrictions of growth in certain urban regions that present significant problems with respect to sliding.

Key-words: urban mapping, landslides and susceptibility.

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1: Fases de trabalho para formulação do Planejamento. | 23 |
| Figura 2: Carta geológica apresentada pela Folha Gravataí. | 39 |
| Figura 3: Unidades geomorfológicas do Rio Grande do Sul. | 41 |
| Figura 4: Mecanismo do movimento de quedas em taludes. | 50 |
| Figura 5: Mecanismo do movimento do tipo tombamentos. | 51 |
| Figura 6: Mecanismo do movimento rotacional em taludes. | 52 |
| Figura 7: Mecanismo do movimento translacional de massas de solo. | 53 |
| Figura 8: Representação dos formatos digitais. | 72 |
| Figura 9: Níveis de informação em SIG. | 73 |
| Figura 10: Localização do município de Igrejinha no Estado do Rio Grande do Sul. ... | 75 |
| Figura 11: Paisagem do Rio Paranhana. | 77 |
| Figura 12: Zoneamento municipal de acordo com a Lei 3.824/2006. | 83 |
| Figura 13: Metodologia de pesquisa. | 86 |
| Figura 14: Indicação dos pontos vistoriados e o trajeto realizado no município de Igrejinha. | 88 |
| Figura 15: Imagem apresentando a formação basáltica presente no Ponto 002. | 89 |
| Figura 16: Representação da situação de formação de bancos de cascalho no rio localizado no ponto 003. | 90 |

| | |
|---|-----|
| Figura 17: Apresentação do Rio Paranhana, onde está sendo realizada a recuperação das suas margens, ponto 006..... | 91 |
| Figura 18: Imagem do local no dia do deslizamento que ocorreu em 10/01/10. Ponto 007..... | 92 |
| Figura 19: Imagem do local após o deslizamento, ponto 007. | 93 |
| Figura 20: Imagem atual da área, onde ocorreu o evento de deslizamento no ano de 2010, ponto 007 (posição atrás da escola Garibaldi)..... | 93 |
| Figura 21: Precipitações que ocorreram no mês de Janeiro de 2010..... | 94 |
| Figura 22: Representação esquemática do evento de deslizamento ocorrido no local... | 95 |
| Figura 23: Evento de deslizamento ocorrido no ponto 008..... | 96 |
| Figura 24: Modelo esquemático do evento ocorrido no local. | 96 |
| Figura 25: Deslizamento ocorrido no Bairro Figueira (ponto 009)..... | 97 |
| Figura 26: Imagem da área, ponto 010, no dia do deslizamento, 23/04/2011..... | 98 |
| Figura 27: Precipitações que ocorreram no mês de Abril de 2011..... | 99 |
| Figura 28: Precipitação ao longo do ano de 2011. | 100 |
| Figura 29: Esquema do movimento que ocorreu no local. | 101 |
| Figura 30: Deslizamento ocorrido no Bairro Saibreira (ponto 010)..... | 101 |
| Figura 31: Precipitação no mês de Abril ao longo dos anos. | 102 |
| Figura 32: Precipitação no mês de Janeiro ao longo dos anos. | 102 |
| Figura 33: Região do movimento no ano de 1987. | 103 |
| Figura 34: Tela do programa Idrisi mostrando uma das 18 partes de Igrejinha..... | 105 |
| Figura 35: Imagem visualizada no programa Cartalinx para o desenho das curvas de nível, mostrando um dos 18 mapas de Igrejinha. | 106 |

| | |
|--|-----|
| Figura 36: Imagem após a finalização do desenho das curvas de nível no programa Cartalinx. | 107 |
| Figura 37: Imagem da área urbana que apresenta a classificação assumida. | 110 |
| Figura 38: Vale do Paranhana, onde localiza-se a cidade de Igrejinha. | 111 |
| Figura 39: Declividades presentes no perímetro de Igrejinha. | 112 |
| Figura 40: Escalas de declividades, salientado as declividades acima de 15°. | 113 |
| Figura 41: Movimento de rastejo no Bairro Viaduto. | 114 |
| Figura 42: Pontos com indícios de movimentos e eventos já ocorridos..... | 116 |
| Figura 43: Declividades presentes na Zona 1 de Igrejinha..... | 117 |
| Figura 44: Contato do arenito presente no município de Igrejinha (coordenadas geográficas 520.694 e 672.8736)..... | 117 |
| Figura 45: Imagem da zona 2 localizada em Igrejinha..... | 118 |
| Figura 46: declividades constantes na zona 3..... | 119 |
| Figura 47: Trincas observadas na zona 3..... | 119 |
| Figura 48: Imagem da zona 4 destacando as declividades. | 120 |
| Figura 49: Zona 5 de Igrejinha e suas declividades..... | 121 |
| Figura 50: Eventos de deslizamento ocorridos na zona 5. | 122 |
| Figura 51: Imagem mostrando o local de deslizamento. | 122 |
| Figura 52: Declividades encontradas na zona 6. | 123 |
| Figura 53: Declividades presentes na zona 7..... | 124 |
| Figura 54: Local do deslizamento ocorrido..... | 124 |
| Figura 55: Localização dos bairros no município de Igrejinha. | 125 |

| | |
|---|-----|
| Figura 56: Cotas de cheias datadas de 1989..... | 127 |
| Figura 57: Composição dos temas: cotas de cheias e declividades..... | 129 |
| Figura 58: Área inundada para um tempo de retorno de 10 anos..... | 131 |
| Figura 59: Igrejinha com os níveis de cheia de tempo de retorno de 10 anos e áreas com suscetibilidade a deslizamentos..... | 132 |

ÍNDICE DE QUADROS

| | |
|---|-----|
| Quadro 1: Causas para os deslizamentos..... | 44 |
| Quadro 2: Tipos de movimentos delimitados pelo grau de inclinação da encosta..... | 45 |
| Quadro 3: Classificação dos movimentos de massa baseados nas velocidades de deslocamentos..... | 48 |
| Quadro 4: Classificação para deslizamentos adotada por Bromhead (1992). | 49 |
| Quadro 5: Escalas de mapeamento para zoneamento de deslizamentos e sua aplicação. | 68 |
| Quadro 6: Informações necessárias para realizar um inventário de deslizamento. | 69 |
| Quadro 7: Eventos de inundação ocorridos em Igrejinha..... | 78 |
| Quadro 8: Eventos históricos de deslizamentos no município de Igrejinha..... | 79 |
| Quadro 9: Zoneamento na área urbana segundo a Lei 3.824/2006. | 81 |
| Quadro 10: Características dos pontos que foram vistoriados. | 115 |
| Quadro 11: Desastres naturais ocorridos nos municípios do Vale do Paranhana de julho de 2003 a março de 2012..... | 126 |

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

APP – áreas de preservação permanente

CFA – clima subtropical

CFB – clima temperado

CPRM – Companhia em Pesquisas em Recursos Minerais

GPS – Sistema de Posicionamento Global

IAEG–Associação Internacional de Engenharia, Geologia e Ambiental

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

ISRM–Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas

ISSMGE - Sociedade Internacional de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica

IUGS - Working Group – Committee on Risk Assessment

JTC 1 - Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes

LANDSAT TM - Land Remote Sensing Satellite

ONU - Organização das Nações Unidas

SAGA/UFRJ - Sistema de Análise Geoambiental

SIG – Sistema de informação geográfica

SINPDEC - Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

ÍNDICE

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 17 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 21 |
| 2.1 | PLANEJAMENTO URBANO..... | 21 |
| 2.1.1 | Exemplo de zoneamento para áreas suscetíveis | 32 |
| 2.2 | GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA | 34 |
| 2.3 | Caracterização DOS DESLIZAMENTOS | 42 |
| 2.3.1 | Classificação dos deslizamentos..... | 47 |
| 2.4 | ANÁLISE DE RISCO | 54 |
| 2.4.1 | Sistema de aviso para deslizamento | 64 |
| 2.5 | ANÁLISE DE SUSCETIBILIDADE..... | 65 |
| 2.5.1 | Metodologia proposta pelo Comitê Técnico em deslizamento e Taludes Artificiais (2008)..... | 65 |
| 2.6 | GEOPROCESSAMENTO | 71 |
| 3 | CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO..... | 75 |
| 3.1 | INVENTÁRIO DE EVENTOS DE ENCHENTES E DESLIZAMENTOS..... | 77 |
| 3.2 | PLANO DIRETOR DE IGREJINHA – LEI 3.824/ 2006..... | 80 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 4 | METODOLOGIA DE PESQUISA | 84 |
| 5 | RESULTADOS | 87 |
| 5.1 | INVESTIGAÇÃO EM CAMPO | 87 |
| 5.1.1 | Ponto 002..... | 89 |
| 5.1.2 | Ponto 003..... | 89 |
| 5.1.3 | Ponto 004, Ponto 005 e Ponto 006. | 90 |
| 5.1.4 | Ponto 007..... | 91 |
| 5.1.5 | Ponto 008..... | 95 |
| 5.1.6 | Ponto 009..... | 97 |
| 5.1.7 | Ponto 010..... | 98 |
| 5.2 | GEORREFERENCIAMENTO | 104 |
| 5.3 | MAPAS..... | 108 |
| 5.3.1 | Movimentos de massa | 108 |
| 5.3.2 | Inundação..... | 127 |
| 6 | CONCLUSÕES | 135 |
| 6.1 | SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS..... | 136 |
| 7 | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 138 |
| 8 | ANEXOS | 144 |

1 INTRODUÇÃO

Em âmbito mundial constata-se uma tendência de crescimento dos prejuízos com desastres naturais. A razão disso é que as pessoas e as sociedades tornaram-se mais vulneráveis. Embora a frequência dos eventos naturais permaneça constante, as atividades humanas têm contribuído para o agravamento da intensidade dos mesmos. Os impactos desses eventos dependem das práticas desenvolvimentistas, da proteção ambiental, do crescimento ordenado das cidades, da distribuição de renda e de estruturas governamentais (ONU, 2004). Tornados, furacões, deslizamentos e enchentes são alguns dos eventos que podem afetar a estrutura de uma cidade e causar diversos prejuízos econômicos.

No Brasil, os principais fenômenos relacionados a desastres naturais são os deslizamentos de solos e/ou rochas e as inundações. Estas ocorrem associadas a eventos pluviométricos intensos e prolongados, frequentemente relacionados a condicionantes de declividades. Os deslizamentos causam mais mortes, embora as inundações provoquem maiores prejuízos econômicos e impactos significativos na saúde pública (CARVALHO e GALVÃO, 2006 *apud* TOMINAGA, 2007).

Ainda é reduzido o número de municípios que contemplam a gestão de riscos em seus planos de desenvolvimento urbano, apesar de o Brasil dispor de conhecimento desenvolvido por universidades e institutos de pesquisa em conjunto com as prefeituras, de forma a subsidiar as ações de prevenção de riscos urbanos (CARVALHO e GALVÃO, 2006 *apud* TOMINAGA, 2007). Logo, é necessário criar políticas de prevenção de acidentes ou formas de minimizar o prejuízo deixado por esses eventos, através de parcerias com centros de estudos, universidades e entidades públicas.

A Lei 12.608/12 criou o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil, entre outras medidas, passou a exigir que os municípios que estejam no cadastro de áreas

suscetíveis a deslizamentos elaborem “a carta geotécnica de aptidão à urbanização, estabelecendo diretrizes urbanísticas voltadas para a segurança dos novos parcelamentos do solo”. Tais cartas geotécnicas necessitam ser desenvolvidas a partir de inventário de eventos que ocorrem num município e da análise dos condicionantes principais que levam à ocorrência dos fenômenos. Com base nesses fatores, pode-se aplicar o zoneamento territorial do município, a partir do qual é possível definir áreas em que há menor probabilidade de ocorrerem deslizamentos e inundações.

Diversos centros urbanos brasileiros estão localizados em áreas com problemas de deslizamento de solo, tais como municípios do Vale do Itajaí (SC), Santos e São Vicente (SP), Rio de Janeiro e municípios da Serra Fluminense (RJ). Isso tem gerado preocupação e interesse de estudo devido à magnitude dos desastres, uma vez que causam mortes, perdas de moradias e até mesmo problemas de saúde pública.

Um dos cenários de grande desolação ocorreu no Morro do Bumba, no Estado do Rio de Janeiro, em maio de 2010, com pelo menos 46 mortos (REVISTA FUNDAÇÕES e OBRAS GEOTÉCNICAS, 2011). Antigamente, havia um lixão no topo do morro, mas, nos últimos anos, o local era ocupado por moradias. Esse fator aliado às condições geológicas e hidrológicas locais, manifestadas nos dias anteriores aos deslizamentos, foi determinante para que ocorresse o evento.

Esses eventos também são registrados na Região Sul do Brasil. Santa Catarina foi cenário de grandes deslizamentos no ano de 2008, fato que se repetiu com menos intensidade em 2011. Neste mesmo ano, no Estado do Rio Grande do Sul, ocorreram deslizamentos nos municípios de Gramado, Bento Gonçalves, Igrejinha e Pinhal da Serra.

Em outubro de 1996, em Igrejinha, local desta pesquisa, um deslizamento provocou a morte de duas pessoas. Segundo Relatório da Defesa Civil, o fato ocorreu em um talude de corte de rochas areníticas de cerca de 20 metros de altura e declividade média de 45°, envolvendo solo, blocos de rocha e fissura recente no terreno de, aproximadamente, 650 m². Em maio de 2011, outro deslizamento de solo destruiu 7 casas na cidade do Vale do Paranhana e causou a morte de seis pessoas.

Diferentemente da metodologia proposta pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 2007), que considera vulnerável apenas os locais onde são visualizados indícios de movimentação (risco instalado), é necessário estudar metodologias e critérios mais amplos que possam ser usados na identificação de áreas de risco para posterior planejamento urbano, devido ao grande número de fatores intervenientes que podem levar aos deslizamentos. Estudos com esse propósito são importantes, no sentido de analisar as áreas e catalogar locais suscetíveis à ocorrência de deslizamentos, pois permitem, tanto avaliar a probabilidade e a magnitude do desastre que poderá ser provocado, quanto definir ações estratégicas de modo a criar um mapeamento de aptidão para o uso do solo.

A análise de suscetibilidade está fundamentada no conhecimento das características do movimento como: velocidade, solo, classificação do movimento, volume de massa mobilizado e as características da área que ocorreu o evento.

Para avaliar a suscetibilidade de uma área, é necessário conhecê-la o mais profundamente possível. Por isso, a dissertação estará fundamentada nos estudos locais existentes, como cartas, imagens e levantamentos de campo para que se possa efetuar o cruzamento dos dados e, assim, identificar as zonas de suscetibilidade a deslizamentos. A dissertação também estudará as condições geológicas e geomorfológicas locais de Igrejinha.

A partir dos dados adquiridos, se fará uma análise da situação local, de modo a classificá-la, conforme a suscetibilidade de deslizamento e a ruptura existente. O prognóstico da área será comparado à legislação e aos documentos técnicos existentes para ocupação dessas regiões.

Para que o trabalho possa ser compreendido da melhor forma, o mesmo foi estruturado em capítulos, seguindo o escopo básico de Introdução, Revisão de literatura, Caracterização da área de estudo, Metodologia, Resultados e Conclusões.

Na Introdução, é apresentado o tema do trabalho, bem como os objetivos que se pretende alcançar com o estudo. No capítulo de Revisão de literatura, será feito um levantamento de outros estudos de casos já realizados, juntamente com as definições e

os esclarecimentos mais pertinentes, tais como geologia e geomorfologia, análise de risco e metodologias, geoprocessamento e legislação que servirão para o bom entendimento da proposta de trabalho.

No capítulo de Caracterização da área de estudo, são apresentadas as características geológicas, geomorfológicas, hidrológicas e um histórico de eventos de deslizamento e inundações ocorridos em Igrejinha.

A Metodologia é um capítulo destinado a elucidar a forma com que o trabalho será realizado, a fonte dos dados e quais serão as etapas.

No final do trabalho, são apresentados os Resultados obtidos com a pesquisa, a metodologia adotada como critério de identificação das áreas de suscetibilidade, os parâmetros e condições ambientais definidos como classificatórios. Também serão sinalizados os locais favoráveis à ocorrência de deslizamentos e será confeccionado um mapa de zoneamento de suscetibilidade. A Conclusão será o capítulo que relatará a viabilidade do zoneamento proposto e a indicação das possíveis áreas para ocupação urbana.

Dessa forma, o objetivo desse trabalho visa a análise do local, realizar um mapeamento de suscetibilidade a deslizamentos criando uma base cartográfica para a área urbana e indicar a aptidão das áreas aos eventos. Os objetivos específicos são:

- Realizar inventário dos deslizamentos que já ocorreram em Igrejinha e dos locais suscetíveis a esses eventos;
- Elaboração do mapa de suscetibilidades da área urbana de Igrejinha;
- Análise preliminar das áreas com restrição de ocupação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente capítulo tem como finalidade apresentar os principais conceitos pertinentes ao processo de discriminação de áreas suscetíveis a deslizamentos de solo ou material rochoso. Para tanto, o capítulo está dividido em diferentes títulos que darão suporte para o entendimento geral do trabalho.

2.1 PLANEJAMENTO URBANO

O Planejamento Urbano pode ser entendido como um processo de desenvolvimento de técnicas, elaborado como um sistema estruturado, que envolve etapas distintas, de modo a identificar os objetivos e criar procedimentos e programas para atingi-los. Visa à melhoria da qualidade de vida em uma escala espacial e temporal, conciliando desenvolvimento e qualidade ambiental (CASAGRANDE, 2005).

Segundo SANTOS (2004), o planejamento urbano surgiu, nas últimas três décadas, devido ao aumento dramático da competição por terras, água, recursos energéticos e biológicos, o qual gerou a necessidade de organizar a utilização do solo, compatibilizar o uso com a proteção dos ambientes ameaçados e de melhorar a qualidade de vida das populações.

O planejamento serve como uma ferramenta para melhorar a distribuição urbana orientada à ocupação humana. Necessita de várias técnicas de engenharia e de outras profissões ligadas ao desenvolvimento social, pois envolve questões multidisciplinares que passam por aspectos históricos e culturais de determinado grupo de pessoas.

Os princípios do planejamento remetem diretamente aos conceitos de sustentabilidade e multidisciplinaridade, os quais, por sua vez, exigem uma abordagem holística de análise para posterior aplicação. Os diferentes temas devem ser tratados de forma integrada para que possibilitem ações práticas direcionadas às soluções dos problemas (SANTOS, 2004).

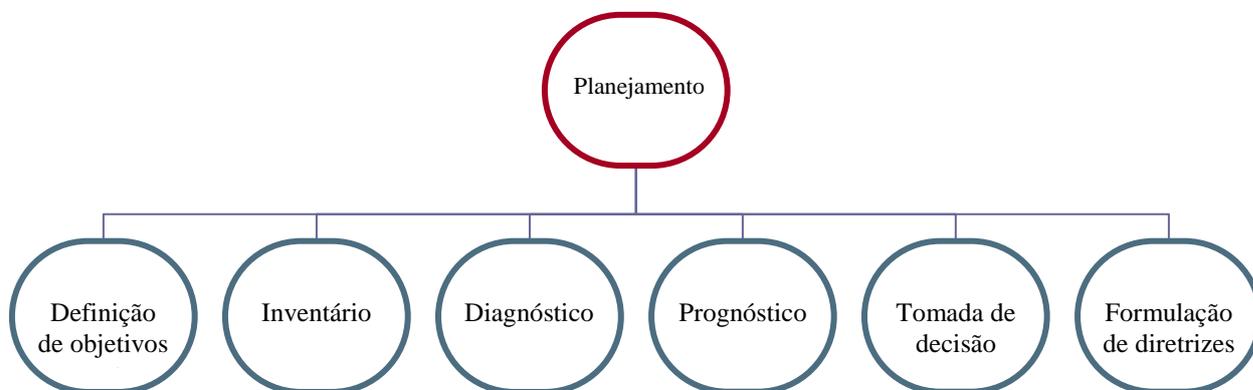
Dentro da multidisciplinaridade, o planejamento pode abordar aspectos de geologia, geomorfologia, geotecnia, geoprocessamento, entre outros temas que se fizerem necessários ao longo de um estudo de análise de suscetibilidade a deslizamentos de solos em municípios, que é o foco principal deste trabalho.

Em planejamentos, é fundamental entender a cultura e as formas específicas com que as populações manejam seus recursos naturais. Também é fundamental uma previsão acurada e integrada dos impactos oriundos de ações, manejos e projetos propostos para a área de planejamento, bem como a intensidade da pressão, direta ou indireta, que eles impõem ao local (SANTOS, 2004).

A forma mais lógica de alcançar uma visão global dos problemas e impactos é através de um estudo que siga uma sequência de etapas, que alcance o propósito final de direcionar a ocupação urbana. Santos (2004) apresenta uma proposta de fases para o Planejamento Ambiental, como pode ser verificado na Figura 1.

Os planejamentos são organizados dentro de uma estrutura que envolve pesquisa, análise e síntese. A pesquisa tem como objetivo reunir e organizar os dados para facilitar sua interpretação. Os dados organizados são avaliados a fim de atingir a compreensão do meio estudado, constituindo a fase de análise com seus acertos e conflitos. E, por fim, a síntese refere-se à aplicação dos conhecimentos alcançados para a tomada de decisões (SANTOS, 2004).

Figura 1: Fases de trabalho para formulação do Planejamento.



Fonte: Santos (2004)

Como se pode observar, as etapas de inventário e diagnóstico necessitam de um grande número de dados referente à área de estudo. Por isso, é importante a delimitação da área de trabalho e a seleção das escalas que serão trabalhadas, dos recursos humanos necessários e dos parâmetros indicadores.

Inventário e diagnóstico representam o caminho para compreender as potencialidades e as fragilidades da área de estudo, da evolução histórica de ocupação e das pressões do homem sobre os sistemas naturais. A partir dos dados formam-se retratos da área que, quando comparados, somados e interpolados, ressaltam as principais características e fornecem indícios da dinâmica da região.

Alguns autores entendem que a fase de inventário é a etapa em que serão formuladas questões básicas para um bom encaminhamento do processo, tais como: quais os elementos ou parâmetros do meio que devem ser estudados; quais dentre eles devem ser considerados bons indicadores das condições ambientais da área de estudo ou qual a importância relativa de cada um deles; em que escala adotá-los; e como deverão ser cruzados (SANTOS, 2004).

Mapas de suscetibilidade como resultados do planejamento urbano também são muito dependentes da escala adotada e, assim como no planejamento, é necessário delimitar a área do estudo, o nível de informação que se deseja obter e qual o tipo de

informação que se tem disponível como: levantamentos de campo, aerolevantamentos e imagens de satélites.

A definição das escalas de trabalho mais adequadas ao objetivo do estudo será apresentada no capítulo de Metodologia em que será relatada a metodologia para análise de suscetibilidade de deslizamentos.

Em uma escala espacial é necessário interpretar, não só a extensão territorial na qual o evento ocorre, mas também as circunstâncias em que ele ocorre em cada ponto do espaço ocupado. Assim, os mapas são um excelente instrumento para se avaliar a distribuição, contudo, de forma geral, são os levantamentos de campo que permitem interpretar a variabilidade, a intensidade e as condições ecológicas dos fenômenos e elementos de uma área (SANTOS, 2004).

Ainda, de acordo com Santos (2004), em uma determinada seleção de escala, pode-se perder informações importantes, quando se utiliza mapas com pouco detalhamento. Por outro lado, detalhar, demasiadamente, um mapa que poderá, posteriormente, ser reduzido, resulta em um agrupamento ou até mesmo perda das informações que foram levantadas.

Levando-se em conta essas observações a respeito das escalas a serem utilizadas no planejamento, o primeiro passo é definir quais são as informações imprescindíveis e quais podem ser perdidas. É também de conhecimento que escalas maiores possibilitam maior detalhamento da informação, ao passo que escalas menores, embora diminuam o tempo e o custo para o levantamento dos dados, generalizam e acumulam as informações.

Cendrero (1989) *apud* Santos (2004) expressa que a escolha da grandeza de escala se inicia com o tipo de planejamento proposto. Para escalas de nível macro, o planejamento seria de nível econômico e ecológico. Para planejamentos ligados ao uso e às proposições de zoneamento, deveriam ser utilizadas escalas do tipo meso. Já, para estudo de zoneamento detalhado para nível municipal (planos diretores), o nível indicado seria o micro.

Cascini *et al.* (2005) define que para investigações de grandes áreas é necessário realizar a análise em pequena escala, 1:100.000 a 1:50.000, nas quais a frequência de danos é geralmente expressa em anos, sem uma avaliação de sua intensidade. Em áreas densamente povoadas a investigação necessita de escalas intermediárias, 1:25.000, que proporcionam maior precisão na delimitação das áreas expostas, apresentam uma gradação na intensidade do dano e podem implementar sistemas de monitoramento. Quando são avaliados bairros e construções individuais, uma grande escala é necessária, 1:5.000, para o desenvolvimento de moradias em zonas de segurança, ou quando estão próximas de zonas de deslizamento.

O zoneamento compõe as fases de inventário e diagnóstico, que resultam na definição das áreas que compartimentam os diversos sistemas ambientais componentes do espaço estudado. As zonas homogêneas podem ser passíveis de delimitados espaços e escalas adotadas, porque possuem um funcionamento semelhante (SANTOS, 2004).

O adequado planejamento da área urbana deveria conter o zoneamento do município dividido em setores de aptidão à ocupação, baseado em uma análise de suscetibilidade a deslizamento, mostrando, assim, as regiões com áreas de intervenção prioritária.

Para a construção de mapas de suscetibilidade, são necessárias várias informações, tais como: declividade, pluviosidade e geologia. A partir desses dados será possível concluir em que áreas há maior probabilidade de ocorrer algum evento de deslizamento de solo.

Um exemplo de aplicação do zoneamento na área urbana foi desenvolvido por Ross (2001), e realizado no Estado de São Paulo a partir de cartas topográficas e fotos aéreas em escala 1:25.000. No referido estudo foi possível a confecção dos seguintes documentos: carta de declividade média, carta simplificada da litologia e características do manto, carta do uso da terra e cobertura vegetal, carta dos elementos das formas de relevo e marcas de processos erosivos e dados pluviométricos.

Como consequência da diferenciação das áreas em diferentes graus de instabilidades, é possível definir o zoneamento e, assim, indicar a melhor forma de ocupação e uso do solo urbano.

O formato mais adequado para um efetivo zoneamento urbano é obtido, através do estudo aprofundado das áreas urbanas e da realização de prognósticos de ocupação que envolvam a observação das taxas de crescimento populacional, visto que um dos principais problemas das cidades é o crescimento desordenado, sem planejamento.

No Brasil, o crescimento das cidades tem sido intenso nas últimas décadas, demandando medidas corretivas e de planejamento territorial na gestão das áreas urbanas e do município como um todo (RODRIGUES; AUGUSTO, 2009).

O planejamento territorial já está implementado no meio urbano, visto que a Lei 10.257, de 10 de julho de 2001, define a obrigação de implantar o Plano Diretor para municípios que possuem mais de 20 mil habitantes. Esta é uma ferramenta de diretriz urbana amplamente utilizada, podendo, dessa forma, haver sobreposição de informações a respeito de locais suscetíveis a deslizamento e aptidão do uso do solo, como mencionado no artigo seguinte:

Art. 42-A. Além do conteúdo previsto no art. 42, o plano diretor dos Municípios incluídos no cadastro nacional de municípios com áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos deverá conter:

I - parâmetros de parcelamento, uso e ocupação do solo, de modo a promover a diversidade de usos e a contribuir para a geração de emprego e renda;

II - mapeamento contendo as áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos;

III - planejamento de ações de intervenção preventiva e realocação de população de áreas de risco de desastre;

IV - medidas de drenagem urbana necessárias à prevenção e à mitigação de impactos de desastres; e

§ 1º A identificação e o mapeamento de áreas de risco levarão em conta as cartas geotécnicas (LEI 10.257, 2001).

A Lei 10.257 ainda menciona a obrigação de implantação de Plano Diretor para municípios que possuem aptidão para o turismo e mais importante para municípios suscetíveis a deslizamentos, como é constatado nos parágrafos seguintes.

Art. 41. O plano diretor é obrigatório para cidades:

I – com mais de vinte mil habitantes;

II – integrantes de regiões metropolitanas e aglomerações urbanas;

IV – integrantes de áreas de especial interesse turístico;

V – inseridas na área de influência de empreendimentos ou atividades com significativo impacto ambiental de âmbito regional ou nacional.

VI - incluídas no cadastro nacional de Municípios com áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos (LEI 10.257, 2001).

A Lei 10.257 estabelece as diretrizes gerais da política urbana. A união entre o zoneamento dessa lei e o mapeamento da suscetibilidade a deslizamento é um avanço no ordenamento territorial urbano, visto que, através do Plano Diretor, pode-se estabelecer classificações para as áreas do município, de acordo com a fragilidade do meio ou os interesses municipais.

Com relação às permissões de ocupação e parcelamento do solo urbano, a Lei 6.766, de 19 de dezembro de 1979, conhecida como Lei Otto Lehmann, é muito clara, quando limita em seu artigo 3º:

Parágrafo único - Não será permitido o parcelamento do solo:

I - em terrenos alagadiços e sujeitos a inundações, antes de tomadas as providências para assegurar o escoamento das águas;

III - em terrenos com declividade igual ou superior a 30% (trinta por cento), salvo se atendidas exigências específicas das autoridades competentes;

IV - em terrenos onde as condições geológicas não aconselham a edificação (LEI 6.766, 1979).

As referidas limitações impostas pela legislação servem como parâmetro para definir níveis de segurança, tanto para as construções que estão em fase de planejamento, quanto para a regularização das que já são consolidadas, evitando, assim, a ocupação de áreas suscetíveis a deslizamento no meio urbano.

Atualmente, no Brasil, existe a regulamentação estabelecendo a elaboração de planos e de sistemas de monitoramento e gerenciamento de riscos para deslizamentos de grande impacto. A Lei que regulamenta as ações voltadas para a área de gerenciamento destas áreas de risco a deslizamentos é a de nº 12.608, de 10 de abril de 2012, que instituiu a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil, autorizando a criação de Sistema de Informação e Monitoramento de desastres. No Artigo 4º do referido dispositivo, são estabelecidas as diretrizes para a concretização do Sistema de Monitoramento:

- I - atuação articulada entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios para redução de desastres e apoio às comunidades atingidas;
- II - abordagem sistêmica das ações de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação;
- III - a prioridade às ações preventivas relacionadas à minimização de desastres;
- IV - adoção da bacia hidrográfica como unidade de análise das ações de prevenção de desastres relacionados a corpos d'água;
- V - planejamento com base em pesquisas e estudos sobre áreas de risco e incidência de desastres no território nacional;
- VI - participação da sociedade civil (Lei 12.608/ 2012).

Ainda, em seu Art. 5º, são definidos os objetivos do documento jurídico:

- I - reduzir os riscos de desastres;
- II - prestar socorro e assistência às populações atingidas por desastres;
- III - recuperar as áreas afetadas por desastres;
- IV - incorporar a redução do risco de desastre e as ações de proteção e defesa civil entre os elementos da gestão territorial e do planejamento das políticas setoriais;
- V - promover a continuidade das ações de proteção e defesa civil;
- VI - estimular o desenvolvimento de cidades resilientes e os processos sustentáveis de urbanização;
- VII - promover a identificação e avaliação das ameaças, suscetibilidades e vulnerabilidades a desastres, de modo a evitar ou reduzir sua ocorrência;
- VIII - monitorar os eventos meteorológicos, hidrológicos, geológicos, biológicos, nucleares, químicos e outros potencialmente causadores de desastres;

IX - produzir alertas antecipados sobre a possibilidade de ocorrência de desastres naturais;

X - estimular o ordenamento da ocupação do solo urbano e rural, tendo em vista sua conservação e a proteção da vegetação nativa, dos recursos hídricos e da vida humana;

XI - combater a ocupação de áreas ambientalmente vulneráveis e de risco e promover a realocação da população residente nessas áreas;

XII - estimular iniciativas que resultem na destinação de moradia em local seguro;

XIII - desenvolver consciência nacional acerca dos riscos de desastre;

XIV - orientar as comunidades a adotar comportamentos adequados de prevenção e de resposta em situação de desastre e promover a autoproteção; e

XV - integrar informações em sistema capaz de subsidiar os órgãos do SINPDEC na previsão e no controle dos efeitos negativos de eventos adversos sobre a população, os bens e serviços e o meio ambiente (Lei 12.608/ 2012).

Como pode ser verificado nos trechos da Lei 12.608, de 10 de abril de 2012, o gerenciamento do risco será realizado, através do monitoramento dos fatores desencadeantes dos deslizamentos e da identificação de áreas vulneráveis a esses eventos, a partir do zoneamento e do alinhamento dessas informações ao planejamento territorial do município.

Logo, a criação de um mapa, baseado em dados técnicos e restrições legislativas, com a informação das áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos e as características geotécnicas irão, certamente, contribuir para melhorar o uso do solo. Preconizarão, assim, a prevenção a possíveis danos advindos de deslizamentos, através de uma análise de risco, suscetibilidade ou perigo.

Dessa forma, cada vez mais, os municípios brasileiros têm apresentado seus Planos Diretores como instrumentos de planejamento ambiental, uma vez que são ferramentas básicas para a política de desenvolvimento e a garantia da qualidade de vida. Os processos de economia e de provisão de infra-estrutura destacam-se por focar o uso e ocupação do solo (SANTOS, 2004).

Muitas das experiências de elaboração e de aplicação desses instrumentos de planejamento têm apresentado limitações diversas, entre as quais está a não

consideração adequada dos aspectos do meio físico, em particular os de natureza geotécnica de terrenos ocupados ou a serem ocupados pelas cidades (RODRIGUES; AUGUSTO, 2009).

Apesar de as características geotécnicas serem informações inerentes ao tipo de solo e rocha da região, podem sofrer perturbações devidas, tanto às condições climáticas do local, quanto pela própria ocupação e, dessa forma, acarretar variações de comportamento, necessitando de acompanhamento periódico.

As constantes mudanças no uso e na cobertura do solo provocam alterações no balanço de água, com reflexo nas camadas superficiais e sub-superficiais do solo, resultando em erosão, transporte de sedimentos e elementos químicos e na modificação dos ecossistemas e da qualidade da água (TOLEDO, 2001 *apud* CASAGRANDE, 2005).

Na zona urbana, de acordo com Chiquito (2006), o processo de expansão urbana, através da implantação de loteamentos, é considerado o principal responsável pelo agravamento das voçorocas. Os fatores relacionados ao agravamento dos processos erosivos são: a localização em áreas não apropriadas sob o ponto de vista geotécnico; a deficiência na instalação de infra-estrutura; a abertura em períodos chuvosos; o longo período de exposição do mesmo; a deficiência do sistema de drenagem de águas pluviais e servidas; e o traçado inadequado do sistema viário, agravado, muitas vezes, pela falta de pavimentação, guias e sarjetas.

Devido a essa forma de ocupação e muitas outras, é necessário haver um planejamento baseado em características geotécnicas e na análise de risco. Todas as particularidades da região devem ser catalogadas e transferidas para a representação, através de mapas.

O mapeamento geotécnico pode fornecer informações essenciais ao planejamento urbano, tais como a seleção de área adequada à expansão urbana e/ou contribuição na obtenção de um plano urbano e regional, respeitando e protegendo o ambiente de forma econômica (MENDES, 2001 *apud* RODRIGUES; AUGUSTO, 2009).

Três grupos de aspectos geotécnicos devem ser observados para uma melhor ocupação urbana, são eles: Grupo A: relacionados aos fenômenos de geodinâmica externa, ou seja, os processos como erosão pluvial e inundações que podem acarretar graves problemas para a urbanização; Grupo B: determinam as propriedades do terreno, descrevendo as características dos materiais (rochas e solos), do relevo local e das condições de drenagem e água subterrânea; Grupo C: relacionados às áreas que contenham jazidas minerais, Áreas de Proteção Permanente (APP), Reservas Ambientais e às áreas de recarga de aquíferos (RODRIGUES; AUGUSTO, 2009).

Para se obter essas informações com qualidade, muitas fontes de dados podem ser pesquisadas, tais como literatura, dissertações, teses, levantamentos de campo e aerolevanteamento.

Uma das formas de se obter informações sobre o uso e a cobertura do solo é o mapeamento com sensores aerotransportados e orbitais. A foto-interpretção, que consiste na utilização de métodos ou técnicas na análise de imagens e permite a obtenção de informação significativas e confiáveis nos diferentes ramos da ciência do solo, tem como finalidade examinar a imagem de um objeto para identificá-lo e deduzir o seu significado (ROSA, 2001 *apud* CASAGRANDE, 2005).

A partir da sobreposição dessas informações, é possível construir mapas que definem a ocupação urbana e planejam da melhor forma o uso, de acordo com as instabilidades das áreas.

De acordo com Dias (2002), o mapa digital de Dados Básicos identifica e classifica o espaço urbano, alocando as vias de transporte, rodovias e, dessa forma, permitindo a visualização territorial e servindo de subsídio para um planejamento territorial ordenado. Também se pode delimitar a ocupação do solo criando meios que impeçam a proliferação das áreas com instabilidades ambientais, distinguindo áreas vocacionais que propiciem um uso compatível ao seu potencial.

Para a geração desses mapas Silva e Carvalho (1993) adotaram procedimentos como visitas de campo, interpretação de documentos cartográficos, imagem Landsat TM e mapeamento por geoprocessamento. Os dados e as informações podem ser

tratados, segundo a metodologia/tecnologia Sistema de Análise Geoambiental SAGA/UFRJ.

Uma das grandes utilidades da cartografia geotécnica é fornecer informações ao planejamento urbano e regional, determinando o melhor uso e a ocupação possível à área estudada, além de promover a sustentabilidade ambiental adequada a atividades antrópicas e ao meio físico com o mínimo de danos (RODRIGUES; AUGUSTO, 2009).

2.1.1 Exemplo de zoneamento para áreas suscetíveis

O trabalho desenvolvido por Mattos *et al.* (2005) apresenta o Plano Diretor de Encostas desenvolvido no município de Salvador, o qual consiste em um instrumento técnico-administrativo para o planejamento e a gestão de ações necessárias para a estruturação urbano-ambiental dos assentamentos em situações de risco. O Plano Diretor foi dividido em quatro etapas: Inventário, Diagnóstico, Prognóstico e Plano de ação.

O inventário compreende o levantamento e o cadastramento dos dados e informações disponíveis relacionadas ao problema e às inspeções de campo para a caracterização física-ambiental e socioeconômica das áreas de risco. Na etapa de diagnóstico, a base de dados e informações inventariadas foram analisada de forma orientada à compreensão e à caracterização dos aspectos socioambientais relacionados à problemática em análise. O conjunto de dados e informações obtidos foi sistematizado em um banco de dados digital, sendo utilizado o Sistema de Informação Geográfica (SIG) (MATTOS *et al.*, 2005).

No módulo subsequente do Plano Diretor de Encostas, o prognóstico, são estabelecidas as intervenções necessárias, visando ao controle do risco das áreas de ocupação subnormal. Já a etapa plano de ação contempla os aspectos gerenciais, que implicam na definição das prioridades, no cronograma de implantação e na forma de

atuação técnica e social da gestão pública, durante o processo de implantação do plano (MATTOS *et al.*, 2005).

Para a avaliação das intervenções na etapa do prognóstico do Plano Diretor de Encostas, é construído um sistema de hierarquização, em que são avaliados critérios técnico-ambientais, técnico-econômicos, sócio-políticos e de decisões. Neste são definidas as prioridades das alternativas, através de pesos estabelecidos em matrizes de hierarquização, atribuindo notas de zero a dez para cada critério. A referida metodologia possibilita a reavaliação constante das áreas de risco e, conseqüentemente, as intervenções propostas em função das alterações físicas e sócio-econômicas das áreas (MATTOS *et al.*, 2005).

Segundo Carvalho (1998), o georreferenciamento permite estudar a distribuição espacial das principais características dos solos, visando à aplicação da avaliação de zonas de risco, junto com as diversas cartas temáticas, utilizando, para isso, o SIG. O Sistema de Informação Geográfica é fundamental, quando se trabalha com grandes áreas e volumes de informação, podendo, posteriormente, serem manipuladas com o objetivo de contribuir na tomada de decisão.

No estudo desenvolvido por Jesus *et al.* (2005), o SIG foi utilizado como uma ferramenta de armazenamento de dados. As amostras de solo coletadas e ensaiadas foram localizadas com auxílio do GPS para posterior análise estatística. Para cada amostra de solo, foram retirados índices físicos (índices de vazios e peso específico) e parâmetros de resistências. Para a análise dos dados, foi utilizada geoestatística, já que as características químicas e físicas do solo não apresentavam uma uniformidade espacial, mas, sim, uma variabilidade espacial, sendo necessário tratar os dados como variáveis regionalizadas.

Os resultados obtidos com o uso da técnica de Krigagem ordinária confirmam-na como um bom interpolador espacial. Analisando os mapas de zoneamento produzidos, percebe-se que, onde os índices de vazios são elevados, o valor do ângulo de atrito encontrado é baixo, sendo, assim, uma ferramenta importante na avaliação das zonas de risco (JESUS *et al.*, 2005).

Um estudo desenvolvido por Bandeira (2005), na cidade de Camaragibe, Estado de Pernambuco, fez um mapeamento de todo o município, através da metodologia qualitativa de Gusmão Filho *et al.* (1992), na escala 1:10.000 e com o mapa de uma área piloto realizado, por meio da metodologia qualitativa em escala de detalhe (1:2.000), recomendada pelo Ministério das Cidades. O estudo mostrou que o mapa de risco na escala 1:10.000 tem sido um importante instrumento para o planejamento urbano e serve de pré-setorização para o mapeamento em escala de detalhe.

Com a análise desses estudos de caso, é possível inferir a importância que o georreferenciamento apresenta nas análises de risco de deslizamento e de suscetibilidade, uma vez que a ferramenta serve como um organizador de informações de geologia/geomorfologia, precipitação e movimentos de massa.

2.2 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

O território brasileiro foi palco de múltiplos processos geológicos que deram origem a uma grande variedade de rochas: magmáticas, sedimentares ou metamórficas, cuja distribuição geográfica é complexa e determinante na história da ocupação e do desenvolvimento do País (OLIVEIRA e BRITO, 1998).

A forma como ocorre a distribuição das rochas deve-se aos processos aos quais as mesmas são submetidas ao longo dos anos. Esses processos causam transformações nas estruturas, tanto de ordem física, quanto química.

As mudanças que ocorrem na crosta terrestre podem ser causadas por ações internas e externas. As modificações provocadas por ações endógenas (geodinâmica interna) são originadas no manto terrestre, que, em decorrência das variações de energia, geram correntes internas de convecção, induzindo a movimentos lentos, que produzem tensões e deformações nas camadas das rochas (QUEIROZ, 2009).

As modificações ocorridas em função das ações exógenas (geodinâmica externa) são originadas pela energia solar, que produz o ciclo hidrológico intemperizando, erodindo, transportando e depositando os fragmentos das rochas, dando origem à formação do relevo (QUEIROZ, 2009).

Devido a essas modificações o relevo brasileiro é tão diversificado, assim como as formações de solos e rochas, gerando regiões com diferentes níveis de suscetibilidade a deslizamentos.

A distribuição geográfica dos diferentes tipos de rochas do território brasileiro é consequência dos processos tectônicos que agiram na crosta terrestre, desde os primórdios da história geológica da Terra, do Arqueano até o presente (OLIVEIRA e BRITO, 1998).

Mais de 50% do território brasileiro é formado por Embasamento Pré-Cambriano e Bacias Sedimentares. A área de estudo desse trabalho está localizada na Bacia do Paraná, qual recobre parte dos Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná e São Paulo.

Conforme Vieira (1984), a Bacia do Paraná trata-se de uma bacia intracratônica, ou seja, de uma acumulação sedimentar no interior do cráton. A configuração estrutural para a área foi definida no pré-cambriano, por uma superfície cratônica exposta, circundada pelos escudos mais elevados. A exposição do cráton e dos escudos soerguidos a níveis bem mais elevados produziram, a partir dos processos erosivos, uma considerável massa de sedimentos.

No Rio Grande do Sul, no período Triásico, depositaram-se sedimentos de natureza flúvio-lacustre da formação Santa Maria. No triásico inferior e no Jurássico, sob domínio de um clima desértico, iniciou-se a grande deposição de areias, em manto de dispersão eólica, cujo resultado foi a formação do arenito Botucatu. Outro importante evento geológico foi a efusão das lavas basálticas sobre o arenito, de maneira intercalada, em uma típica estrutura de trapp, no Jurássico e Cretáceo (VIEIRA, 1984).

Essa efusão das lavas ocorreu em razão de importantes eventos tectônicos, que, após o seu resfriamento, gerou quantidades volumosas de basalto toleíticos e subordinadamente vulcânicas ácidas e intermediárias, dando origem à Formação Serra Geral (ROMANI e ALBUQUERQUE, 2010).

As litologias predominantes na escarpa da Serra Geral são os basaltos, os andesitos e as rochas ácidas na parte mais superior dos derrames vulcânicos. Intercalados aos derrames basálticos, ocorrem camadas de arenito Botucatu de origem eólica, com vários graus de cimentação. As rochas associadas aos derrames mais ácidos são mais resistentes do que as básicas (PINHEIRO, 2000).

Um fenômeno típico de instabilização de encostas deve-se à alternância de rochas sedimentares, que apresentam camadas mais resistentes, intercaladas com camadas menos resistentes e sujeitas a sofrerem processos de degradação mais intensos.

Os arenitos eólicos da Formação Botucatu, depositados sob severas condições de clima árido que caracterizaram o Jurássico, sobrepõe ao espesso pacote paleozóico e afloram sotopondo-se e circundando, quase por completo, a colossal sequência basáltica que lhes sucedeu no Jurássico-Cretáceo (OLIVEIRA e BRITO, 1998).

A Formação Botucatu é pequena se comparada à extensão, pois, em boa parte, os arenitos são recobertos pela Formação Serra Geral. No Rio Grande do Sul, é constituída por três associações faciológicas. A primeira é composta por arenitos grossos a conglomeráticos, interpretados como depósitos de lençóis de areia e fluxos torrenciais, que ocorrem na forma de lentes descontínuas com espessura máxima de 1 metro. A segunda é constituída por arenitos com estratos cruzados, vinculados à migração de dunas crescentes simples a localmente compostas. A terceira associação também é composta por arenitos com estratos cruzados, vinculados à migração de dunas lineares complexas (SHERER, 1998 *apud* BETIOLLO, 2006).

É conhecido que estratos de constituintes diferenciados geram áreas com suscetibilidade a movimentos de massa, pois, nesses locais, apresentam-se diferentes resistências, ângulos de atrito e coesões.

As rochas podem ser divididas em ígneas, sedimentares e metamórficas. A Bacia do Paraná apresenta as três classificações, já que, de acordo com a carta geológica Gravataí SH22XC (IBGE, 2003), área da região de estudo, existem materiais provenientes de sedimentos da Formação Serra Geral, como matacões de basalto, seixos, coluvial, bem como rochas efusivas básicas, basaltos e arenitos, entre outros tantos tipos.

As rochas magmáticas, também denominadas de rochas ígneas, são formadas pelo resfriamento e consolidação do magma originário do manto. O magma atinge a superfície e, então, é fundido a altas temperaturas, possuindo partículas de minerais, gases dissolvidos e água. Após o resfriamento, dá origem ao basalto, por exemplo, (QUEIROZ, 2009). As rochas magmáticas irão ter interferência significativa sobre a estabilidade das rochas sedimentares, já que esta última modifica-se a partir da primeira.

De acordo com Queiroz (2009), as rochas sedimentares são formadas a partir da ação do intemperismo físico e químico sobre rochas pré existentes (migmáticas, metamórficas ou sedimentares). As principais rochas sedimentares são:

- Arenitos são formados, basicamente, por partículas de areia ligadas por um cimento que pode ser silicoso, carbonático e argiloso. Os arenitos carbonáticos podem apresentar alta resistência no momento da escavação, mas, com o passar do tempo, podem apresentar problemas com desprendimento de blocos;
- Siltitos apresentam as mesmas características dos arenitos, mas são constituídos por siltes;
- Argilitos são predominantemente da fração argila, sendo consolidados por adensamento de camadas superiores ao longo do tempo, quando apresentam estratificação pronunciada são denominados de folhelhos;
- Conglomerados são sedimentos grossos caracterizados por partículas de seixos rolados, areia grossa e cimento natural.

Segundo Oliveira e Brito (1998), no Rio Grande do Sul, há arenitos, siltitos, folhelhos, lamitos e conglomerados que representam o período Triássico. O intemperismo é o processo de desintegração e decomposição que ocorre na superfície da crosta, em função do contato desta com a atmosfera ou em parte com a hidrosfera. O intemperismo físico é o conjunto de processos que leva à fragmentação ou desintegração da rocha, ao passo que o intemperismo químico é o conjunto de processos que levam à decomposição da rocha (MACIEL FILHO, 2008).

A região de Igrejinha foi palco de grandes transformações, tanto de intemperismo físico, quanto de intemperismo químico. No trabalho realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o mapa geológico, Folha Gravataí SH-22-X-C, em escala 1:250.000, definiu que o município de Igrejinha está localizado sobre Formação Botucatu com as seguintes características:

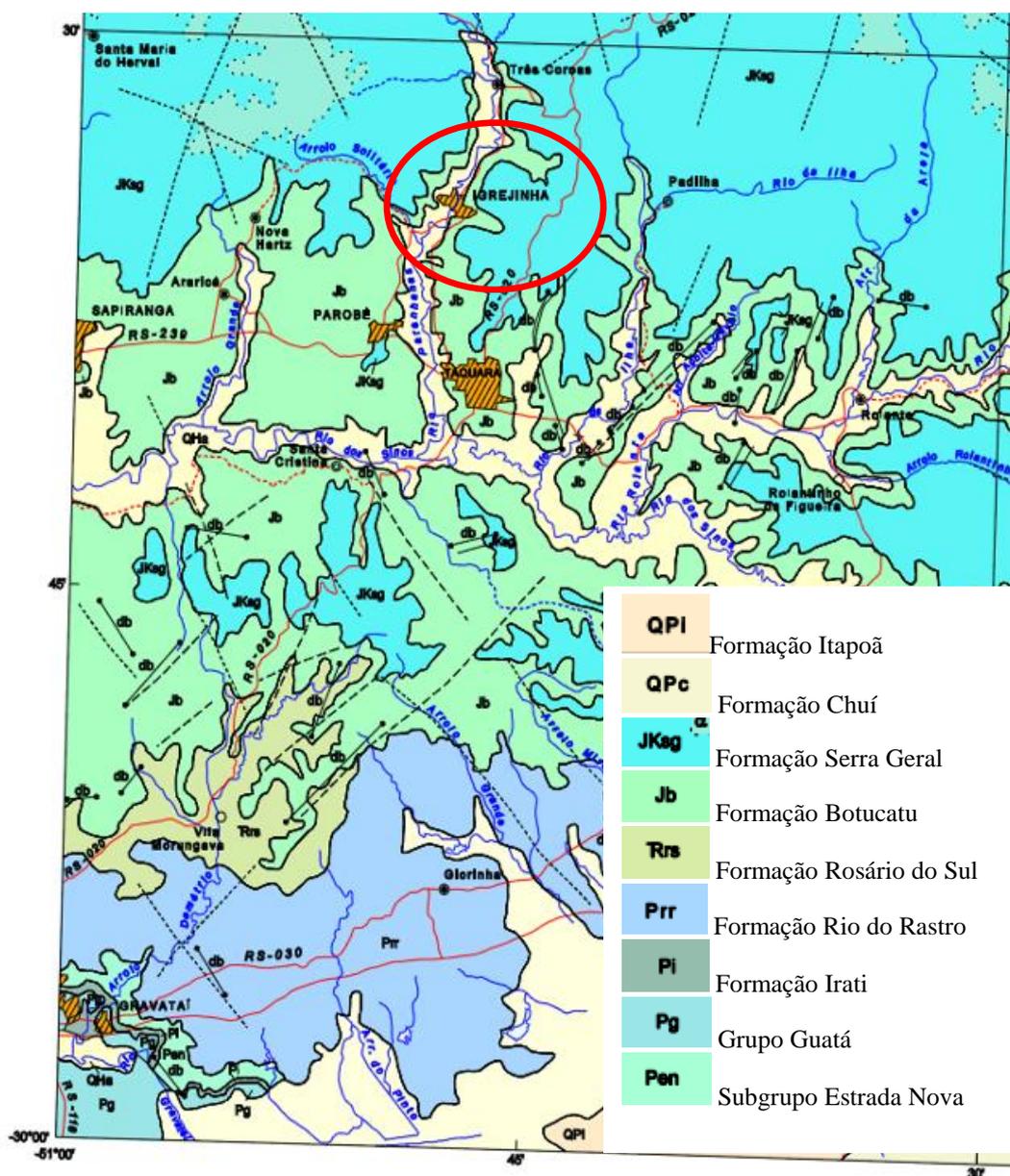
arenitos de coloração vermelha, rósea e amarelo-claro, finos a médio, feldspático, bimodais, com grãos bem arredondados e foscos. Apresentam estratificação cruzada tangencial de grande porte, tendo sido depositados por ação eólica em ambiente desértico (IBGE, 2003).

Na Folha de Gravataí, os afloramentos da Formação Botucatu apresentam espessuras médias entre 2 e 5 metros, atingindo até 30 metros e extensões laterais com cerca de 150 metros. São constituídos, essencialmente, por arenitos bimodais, finos a médios, de cores róseo avermelhadas, bastante litificados, predominantemente quartzosos, sem matriz argilosa, com grãos foscos e bem arredondados, bem selecionados que formam estratificações cruzadas acanaladas e tangenciais de grande porte e, raramente, planares (ROCHA NETO e FRANTZ, 2008).

Um estudo desenvolvido por Romani e Albuquerque (2000) observou que a geologia regional é determinada pela ocorrência de rochas sedimentares areníticas da Formação Botucatu sobrepostas às vulcânicas básicas da formação Serra Geral. As coberturas quaternárias que ocupam as calhas dos vales correspondem aos depósitos eluviais e coluviais, compostos por areias mal selecionadas com laminação plano-paralela incipiente.

O substrato geológico pertencente ao município de Igrejinha é constituído por basaltos, que ocupam as cotas mais elevadas, e arenitos Botucatu, que afloram entre as cotas 200 m e 100 m e em cotas abaixo dos 100 m ocorrem depósitos aluvionares inconsolidados, situados já na calha do rio (RIBEIRO *et al.*, 2012).

Figura 2: Carta geológica apresentada pela Folha Gravataí.



Fonte: CPRM, 2008.

A geomorfologia é controlada por diversos fatores, como o clima, as litologias presentes e o arcabouço estrutural da área. A combinação desses três fatores pode gerar resultados completamente diferentes. Por exemplo, uma rocha sedimentar pouco fraturada em clima seco irá gerar um tipo de macroforma de relevo, distinto em condições de clima úmido e no caso de forte afetação tectônica. Esses condicionantes valem também para o padrão de drenagem (BETIOLLO, 2006).

Essas características também influenciaram na análise de instabilidade de solos e rochas. De acordo com Fernandes *et al.* (2001) existe um forte controle da morfologia do terreno na localização das cicatrizes no campo, uma vez que as formas do relevo, em planta e em perfil, irão definir os níveis de convergência hidrológica de uma determinada topografia e, em última análise, os níveis de poro-pressão desenvolvidos, sendo de extrema importância o conhecimento das estruturas, através de estudos específicos.

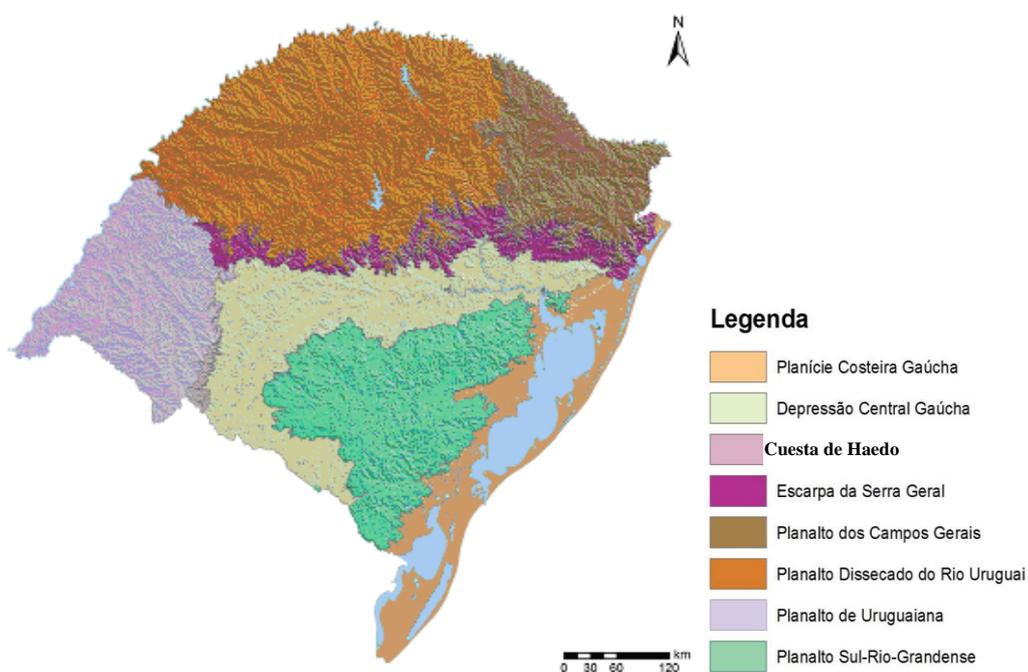
Viero e Silva, 2010, definem as distintas unidades geomorfológicas no Estado, representando diferentes características geomorfológicas, conforme Figura 3. Segundo esse documento, o Estado apresenta quatro domínios geomorfológicos principais, sendo eles: planícies costeiras, constituídas por depósitos marinhos, eólicos e fluvio lagunares de idade quaternária; planaltos alçados, embasados pela sequência vulcânica e vulcanos sedimentar de idade mesozoica da Bacia do Paraná; depressões interplanálticas, embasadas pela sequência sedimentar de idades paleozóica e mesozóica da Bacia do Paraná; planaltos e serras baixas, modelados em rochas cristalinas de idade pré-cambriana do Escudo Sul-Rio-Grandense.

Esses ambientes estão submetidos a um regime climático subtropical e úmido, apresentando invernos frios no Sul do Estado e nas altas superfícies dos planaltos sob moderada atuação do intemperismo químico, devido às baixas temperaturas (VIERO e SILVA, 2010).

As condições climáticas do Rio Grande do Sul propiciam as transformações das rochas, visto que, a umidade, a temperatura e a pluviosidade interferem nesses processos. Segundo Vieira (1984), as características do clima do Estado determinam a

predominância da meteorização (intemperismo) químico entre os processos morfogenéticos, formando os mantos de alteração no planalto basáltico e no escudo Rio-Grandense. A decomposição das rochas é o resultado das reações desencadeadas pela hidrólise, hidratação, oxidação e dissolução.

Figura 3: Unidades geomorfológicas do Rio Grande do Sul.



Fonte: VIERO e SILVA, 2010.

O mecanismo químico que produz alterações nas rochas e nos minerais depende dos seguintes fatores: temperatura, umidade, gás carbônico e oxigênio. A menor ou maior intensidade desses fatores é que determinará as condições de modelagem do relevo, ao passo que o mecanismo físico atua secundariamente nos meses em que se tem maior insolação, gerando acentuada dilatação das fendas, diaclases e poros intergranulares (VIEIRA, 1984).

Essas transformações dependentes de mecanismos físicos e químicos e as características inerentes das formações poderão propiciar processos de instabilidade de massas. Como pode ser observado, são de extrema importância seu conhecimento e

estudo aprofundado para se poder realizar assunções sobre as áreas que são prováveis de ocorrer deslizamentos.

A área de estudo está inserida na unidade Escarpa da Serra Geral, esse domínio representa uma notável feição morfológica da geodiversidade do sul do Brasil, onde estão situados diversos cânions, entre os quais o Itaimbezinho, na região conhecida por Aparados da Serra.

Alguns autores caracterizam a Escarpa da Serra Geral como uma unidade geomorfológica muito suscetível a movimentos de massa, destacando-se deslizamentos rasos translacionais (*slides*) no contato solo-rocha, durante eventos climáticos de extrema pluviosidade (PELLERIN *et al.*, 1996; PONTELLI e PELLERIN, 1998, *apud* VIERO e SILVA, 2010). Segundo esses autores, os movimentos de massa detonados nas altas vertentes da escarpa catalisaram grandes torrentes de fluxos detríticos (*debris-flows*) e corridas de lama (*mud-flows*) que percorreram os principais eixos de drenagem e esparramaram grande massa de sedimentos nas planícies alúvio coluvionares imediatamente a jusante, acarretando expressivos danos materiais. Tais fatos já foram constatados na área de análise, indicando a necessidade de um estudo mais aprofundado das classificações dos movimentos ocorridos na região.

2.3 CARACTERIZAÇÃO DOS DESLIZAMENTOS

É importante salientar que os termos escorregamentos e deslizamentos podem ser usados para o mesmo significado. Tem-se preferido utilizar a palavra deslizamento para definir o movimento de massa em uma encosta, dessa forma, esta dissertação utilizará como nomenclatura a palavra deslizamento.

Segundo a definição de Guididini e Nieble (1983), o termo deslizamento tem sido comumente utilizado no sentido de abranger todo e qualquer movimento coletivo de materiais terrosos e/ou rochosos, independente da diversidade dos processos, causas,

velocidades, formas e demais características. Atualmente, a classificação adotada é a proposta por Cruden e Varnes, em 1987, que diferencia os movimentos, de acordo com o material e suas causas de instabilidades.

As causas desses movimentos são várias, Terzagui (1950) sugeriu uma divisão em três classes: internas (diminuição do atrito interno, diminuição progressiva da coesão sem aumento de esforços cortantes); externas (aumento do esforço cortante sem diminuição das resistências, por aumento da inclinação, deslocamento, abalos naturais e artificiais); e, por último, causas intermediárias (variação do nível de água e liquefação instantâneas).

Apesar de as causas descritas por Terzaghi serem, suficientemente, claras, ainda é possível identificar outras razões para a ruptura, tais como: mudanças geométricas (corte no pé, aumento da altura ou inclinação); carregamento; descarregamento (erosão e mudanças de geometria); vibrações; rebaixamento do nível freático; mudança na precipitação ou infiltração (desmatamento, mudanças climáticas); ruptura progressiva (fissuramento e materiais frágeis); intemperismo (ressecamento, redução coesão e lixiviação de minerais); erosão interna (dissolução, dutos, perda de material); mudança de fluxo subterrâneo (formação de artesianismo, iluviação com variação na permeabilidade e fluxo de contaminantes) (GUIDIDINI e NIEBLE, 1983).

A identificação de um conjunto apropriado de fatores que geram a instabilidade é um conhecimento prioritário para poder haver o relacionamento com taludes rompidos e taludes não rompidos e, assim, avaliar as principais causas de deslizamentos, podendo, então, extrapolar para outras áreas, a fim de obter uma previsão de cunho científico para futuros deslizamentos (GUZZETTI *et al.*, 1999 *apud* LEE, 2004).

Cruden e Varnes (1996) apresenta, de forma simplificada e clara, as possíveis causas de movimento de massa, sendo elas divididas em quatro: geológicas, morfológicas, físicas e humanas, como apresentado no Quadro 1:

Quadro 1: Causas para os deslizamentos.

| Causas geológicas | Causas morfológicas | Causas físicas | Causas humanas |
|---|--|---|-----------------------------------|
| Materiais fracos | Levantamento tectônico ou vulcânico | Chuvas intensas | Escavações de taludes |
| Materiais sensíveis | Alívio por degelo | Derretimento rápido de neve | Sobrecarga no talude ou na crista |
| Materiais intemperizados | Erosão fluvial no pé do talude | Precipitações excepcionalmente prolongadas | Rebaixamento (reservatórios) |
| Materiais cisalhados | Erosão por ondas no pé do talude | Rebaixamentos rápidos (enchentes e marés) | Desmatamento |
| Materiais fissurados ou fraturados | Erosão glacial no pé do talude | Terremotos | Irrigação |
| Orientação desfavorável de descontinuidades (acamamento, xistosidades) | Erosão nas margens laterais | Erupções vulcânicas | Mineração |
| Orientação desfavorável de descontinuidades estruturais (falhas, contatos, inconformidades) | Erosão subterrânea | Descongelamento | Vibração artificial |
| Contraste de permeabilidade | Deposição de cargas no talude ou na crista | Intemperismo por congelamento e descongelamento | Vazamento de água |
| Contraste de rigidez (material denso, rígido sobre materiais plásticos) | Remoção da vegetação | Intemperismo por expansão e retração | |

Fonte: Cruden e Varnes (1996).

São vários os fatores que desencadeiam deslizamentos em encostas. Certamente, os fatores geológicos e geomorfológicos são muito significativos, visto que a alternância de rochas que poderão apresentar camadas com diferentes níveis de

resistência serão geradoras de movimentos. Outros condicionantes de processos de instabilidade são as falhas e fraturas, que condicionam a estrutura do relevo ou formam descontinuidades que propiciam pontos de fraqueza na encosta. Também se pode destacar a importância que a declividade apresenta, já que essa característica é um indício preliminar de deslizamentos. Pode-se, ainda, retirar informações da geometria da encosta para inferir qual será o tipo de escorregamento (deslizamento) que ocorrerá. As faixas de declividade podem condicionar o tipo de movimento que acontecerá, segundo classificação mostrada abaixo:

Quadro 2: Tipos de movimentos delimitados pelo grau de inclinação da encosta.

| Principais movimentos | Faixa de declividade | Material |
|----------------------------------|-----------------------------|---|
| Rastejo | 0° a 5° | Aluviões/colúvios |
| Escorregamento rotacional lento | 5° a 15° | Colúvios |
| Escorregamento rotacional rápido | 15° a 25° | Colúvios e solos de alteração |
| Escorregamento translacional | >25° | Solos rasos (colúvios e solos de alteração) |

Fonte: Modificado de Bressani (2008).

A condicionante climática que mais interfere na estabilidade das encostas é a presença de água e sua atuação. A movimentação, durante a percolação, pode, por exemplo, gerar forças, aumento das poro-pressões, que pode ser definida como a pressão exercida pela água nos poros do solo, e saturação com respectiva diminuição da coesão aparente, o resultado da tensão superficial da água nos capilares do solo agindo como uma força de resistência.

Um outro mecanismo de instabilização das encostas é o da perda da sucção (e da coesão aparente), relacionada ao aumento da umidade do solo decorrente do avanço da

frente de infiltração, no qual a ruptura ocorre sem que a condição de saturação seja alcançada (FREDLUND, 1987).

A precipitação é talvez o fator mais importante e muitos eventos de deslizamentos estão relacionados à elevada taxa de precipitação, seja ela acumulada durante vários dias, seja por chuvas muito intensas durante poucas horas.

A condutividade hidráulica do solo, em termos específicos de deslizamentos, assume importância tanto na recarga da água superficial (velocidade da infiltração) quanto na geração de descontinuidades hidráulicas no interior do perfil de alteração, as quais poderão atuar localmente como camadas de impedimento ao fluxo vertical favorecendo, conseqüentemente, a geração de elevadas poro-pressões positivas. Embora diversos procedimentos possam ser utilizados para a determinação da condutividade hidráulica dos solos, tanto em campo quanto em laboratório, no caso dos deslizamentos, devem ser privilegiados métodos de campo envolvendo porções maiores do solo, as quais englobem fluxos preferenciais associados a macroporos originados, por exemplo, a partir de fendas de contração, buracos de raízes ou animais, além de estruturas reliquias da rocha (FERNANDES *et al.*, 2001).

A vegetação em encostas apresenta tanto fatores positivos, quanto negativos a estabilidade. Da mesma forma como as raízes podem promover um reforço aos solos, elas podem gerar um caminho preferencial para a infiltração da água. As árvores em sua totalidade podem gerar sobrecarga adicional e sofrer interferência pela ação do vento.

Processos de intemperismo podem gerar movimentos de massa, visto que a transformação que ocorre, principalmente, nas camadas superficiais do perfil de solo, muda o material, provocando desagregações e modificações em sua resistência, o que propiciará pequenos movimentos translacionais dessa camada, geralmente de pequena espessura.

2.3.1 Classificação dos deslizamentos

Os critérios adotados para a diferenciação dos movimentos de massa são em geral o tipo de material, a velocidade, o mecanismo do movimento, as deformações, a geometria e a quantidade de água (PINHEIRO, 2000). Para classificar o movimento de massa a partir do critério de velocidade, a teoria mais adotada é a proposta por Cruden e Varnes (1996), como apresentado na tabela abaixo. Quem primeiro adotou o critério de taxa de deformação como fator chave para a história de escorregamentos (deslizamento) foi Leroueil *et al.* (1996), que definiu diferentes estágios de movimentos de massa e sua classificação geotécnica (CASCINI, 2005).

A partir dos estudos de Terzaghi (1950), foi possível classificar os movimentos, segundo o tipo de material envolvido e a sua forma. Varnes (1978) *apud* Pinheiro (2000) sugeriu a classificação dos deslizamentos tendo como base o tipo de movimento e no tipo de material transportado.

Uma das principais diferenciações que se pode fazer a respeito dos deslizamentos é o tipo de material envolvido: solo, detrito, rocha ou fluido, fato que foi observado por Bromhead (1992). Os materiais são divididos em rochas, detritos (20% a 80% das partículas são $> 2\text{mm}$) e terra (80% ou mais das partículas são $< 2\text{mm}$). Para o autor, os deslizamentos são divididos em três grupos principais: escorregamentos (deslizamento) (slides), quedas (falls) e escoamentos (flows).

No movimento tipo escorregamento, o material permanece na sua maioria em contato com a fonte (rocha e solo), durante o processo, o qual permite localizar uma discreta superfície cisalhante. No escoamento, o material torna-se desagregado e pode mover-se sem o deslocamento da superfície de ruptura. E, finalmente, a queda, que envolve a imediata separação do material em queda do solo ou rocha matriz, com o movimento descontínuo e não frequente de contato. O apresenta Quadro 4 as características de cada um dos três movimentos: escorregamentos, quedas e escoamentos.

Quadro 3: Classificação dos movimentos de massa baseados nas velocidades de deslocamentos.

| Descrição | Velocidade típica | Danos esperados e reação da população |
|----------------------------|--------------------------|---|
| Extremamente rápido | > 5 m/seg | Desastres de maior violência; Construções destruídas pelo impacto do material deslocado; Muitas mortes; Fuga de pessoas improvável; |
| Muito rápido | > 3 m/min | Algumas vidas perdidas; Velocidade alta demais para permitir que as pessoas escapem do evento; |
| Rápido | > 1,8 m/h | Evacuação e fuga possível; Estruturas destruídas; |
| Moderado | > 13 m/mês | Algumas estruturas não sensíveis ao evento podem temporariamente ser mantidas; |
| Lento | > 1,6 m/ano | Construções de contenção podem ser erguidas durante o movimento; Estruturas não sensíveis podem ser mantidas com frequentes trabalhos de manutenção se o movimento total não é grande durante a fase particular de aceleração; |
| Muito lento | > 15 mm/ano | Algumas estruturas permanecem não danificadas pelo movimento; |
| Extremamente lento | < 15 mm/ano | Imperceptível sem instrumentação; Possível construções com medidas de precaução; |

Fonte: Cruden e Varnes (1996).

Quadro 4: Classificação para deslizamentos adotada por Bromhead (1992).

| | Causa | Forma |
|-----------------------|--|---|
| Escorregamento | <p>Infiltração da água da chuva (saturação);</p> <p>Descarga de drenagem localmente concentrada;</p> | <p>Em solo uniformemente fofo o escorregamento ocorre na superfície de cisalhamento circular;</p> <p>Em solos com diferentes litologias e depósitos estratificados o escorregamento é em uma superfície única.</p> |
| Quedas | <p>Movimento inicial de escorregamento;</p> <p>Ação de ondas e rios;</p> <p>Rebaixamento do leito de nível de água;</p> <p>Desagregação por escavação;</p> <p>Resistência insuficiente na massa;</p> <p>Formação de gelo ou descongelamento;</p> <p>Variações de temperatura;</p> | <p>Podem se formar detritos através da queda;</p> <p>Pode ser poucos blocos que permanecem intactos;</p> <p>Blocos podem mover-se, escorregar, ricochetear, controlados pelo ângulo e forma do bloco;</p> <p>Detritos podem reativar movimentos e separá-los em queda primária (novo material) e secundária (reativação de detritos).</p> |
| Escoamentos | <p>Absorção de água por uma perturbação, fratura ou fenda;</p> <p>Colapso em solo fofo;</p> <p>Perda de estrutura granular do solo;</p> <p>Compressão gerando altas taxas de poro pressão;</p> <p>Varição química nos minerais do solo em sedimentos recentes sob adensamento;</p> | <p>Quantidade de água é alta, parece uma massa de fluido;</p> <p>Ocorre em solos argilosos e solos não coesivos com grãos finos.</p> |

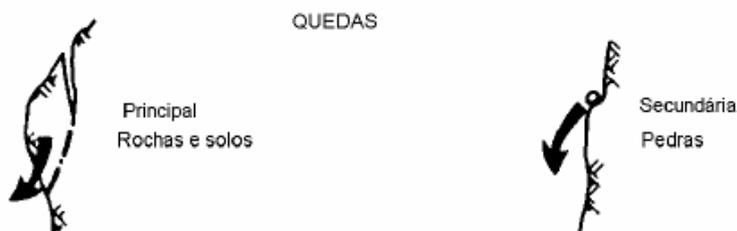
Fonte: Bromhead (1992).

Cruden e Varnes (1996) sugeriram os principais tipos de instabilidades classificando-as como quedas, tombamentos, deslizamentos, escoamento e corridas. A classificação proposta por Cruden e Varnes, é a que será adotada como texto base para o presente trabalho.

Queda é um movimento que se inicia com o desprendimento de um bloco de solo ou rocha da face de um talude com pouca ou nenhuma deformação cisalhante. O movimento é muito rápido em grande parte pelo ar, se a inclinação do talude for maior que 76° , em geral, haverá queda direta do bloco; se ângulo for menor, poderá haver ricocheteamento dos blocos (CRUDEN e VARNES, 1996).

Highland e Bobrowsky (2008) definem que são movimentos repentinos para baixo, de solo ou rocha, a massa em queda pode quebrar com o impacto, iniciar um rolamento em taludes mais íngremes e continuar até a cota mais baixa do terreno. Indicadores de queda eminente de rocha incluem regiões com rochas pendentes, áreas com ciclos frequentes de congelamento e degelo, superfícies de corte em depósitos de cascalho.

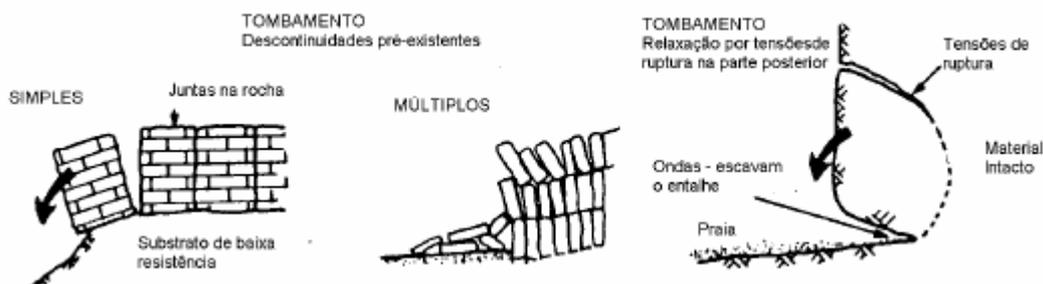
Figura 4: Mecanismo do movimento de quedas em taludes.



Fonte: Hutchinson (1988) *apud* Pinheiro (2000).

Tombamento é o giro para fora do talude de uma massa de solo sobre um ponto na base. O tombamento pode ser devido ao empuxo de material situado acima da massa rompida ou por empuxo hidrostático. A velocidade varia de extremamente rápida a extremamente lenta. O tombamento pode ser por flexão ou por dobra, dependendo da geometria e da resistência dos materiais envolvidos. Existe também tombamento de detritos, quando a taxa de erosão é muito alta (CRUDEN e VARNES, 1996).

Figura 5: Mecanismo do movimento do tipo tombamentos.



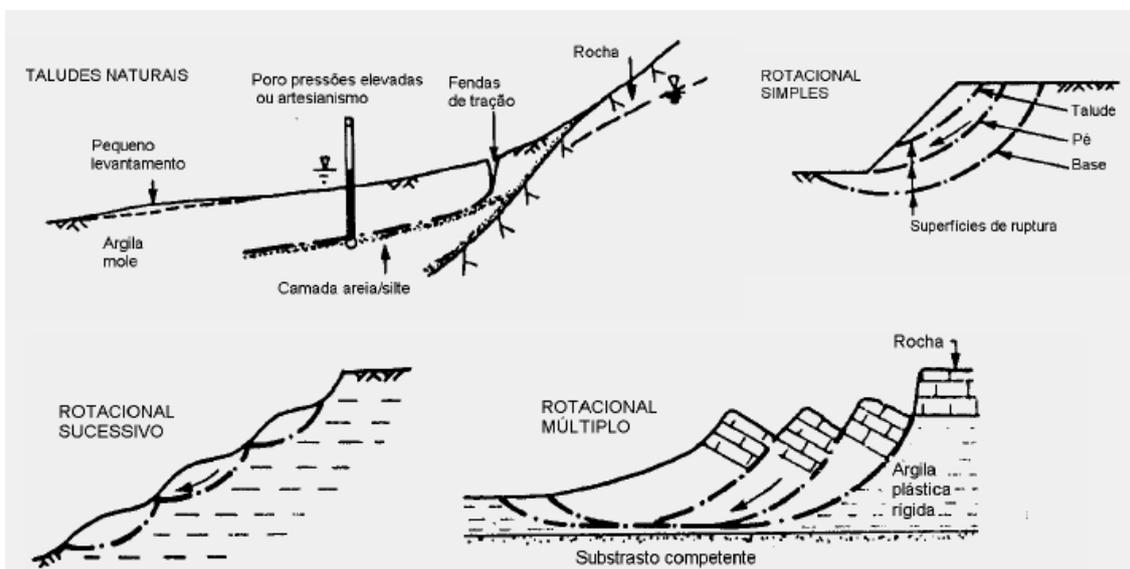
Fonte: Hutchinson (1988) *apud* Pinheiro (2000).

Denomina-se de escorregamento (deslizamento) o movimento de uma massa de solo ou rocha, que ocorre predominantemente em superfície de ruptura ou em superfície relativamente fina de concentração de deformações cisalhantes. O material pode deslizar além da superfície de ruptura. Dentro da classificação de escorregamentos (deslizamento), pode-se, ainda, dividir em dois os principais formatos: os movimentos rotacionais e os movimentos translacionais (CRUDEN e VARNES, 1996).

Nos movimentos dos escorregamentos rotacionais, a superfície de ruptura é curvada no sentido superior e o movimento de queda é ao menos rotatório em torno de um eixo. O topo de material pode mover-se quase que verticalmente para baixo, enquanto a parte superior de material pode inclinar-se para trás em direção ao talude. Esse formato de movimento ocorre, frequentemente, em material homogêneo com declividades que variam entre 20 e 40 graus (HIGHLAND e BOBROWSKY, 2008).

De acordo com Pinheiro (2000), os movimentos de massa com ruptura rotacional ocorrem, em geral, em área de encosta, onde o perfil é convexo. Essa configuração convexa ocorre na parte da encosta que apresenta curvatura positiva com ângulos de inclinação aumentando encosta abaixo. Tais características do movimento rotacional podem ser verificadas na Figura 6. Highland e Bobrowsky (2008) verificaram que esse formato de mecanismo é desencadeado, principalmente, por chuva intensa, que aumenta os níveis de saturação do solo. Os autores também constataram que fissuras no topo dos taludes são bons indicadores de ruptura e que o processo pode ser reativado.

Figura 6: Mecanismo do movimento rotacional em taludes.

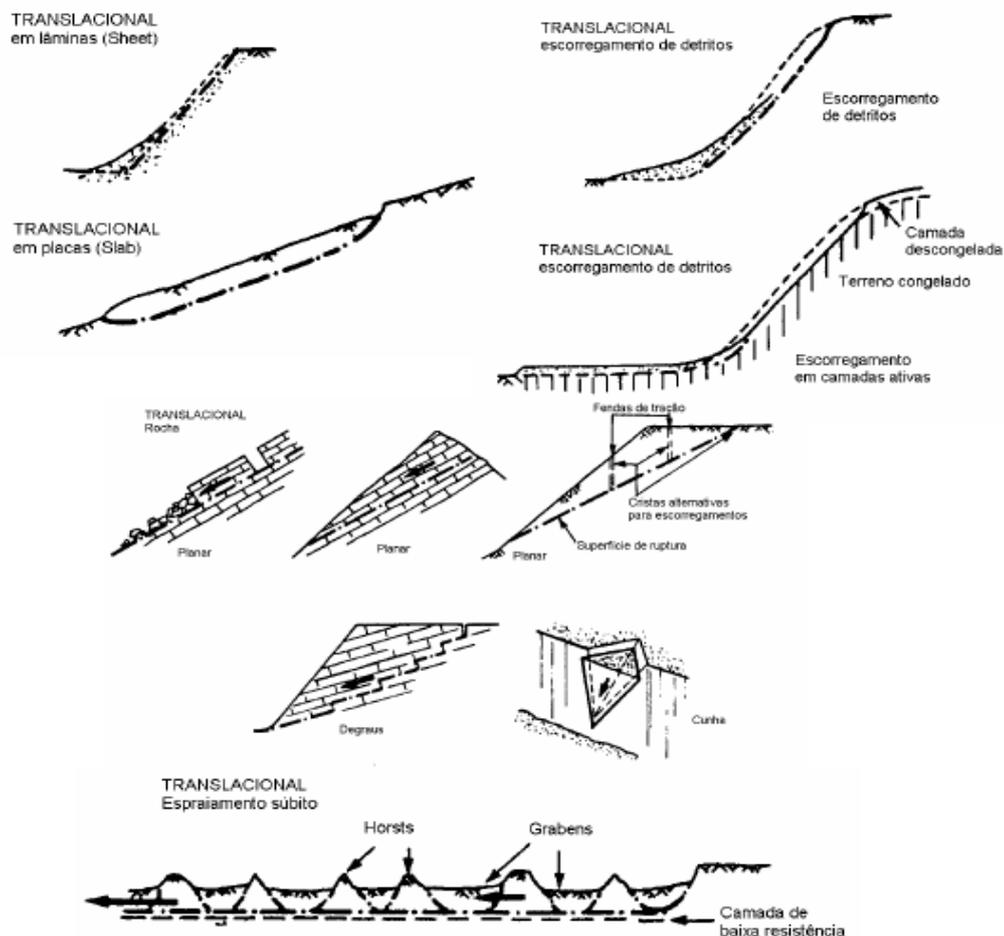


Fonte: Hutchinson (1988) *apud* Pinheiro (2000).

No movimento escorregamento translacional, a massa de material move-se para fora ou para baixo e para fora, ao longo de uma superfície relativamente plana, com pequeno movimento rotacional ou inclinação para trás. Esse formato de escorregamento comumente ocorre ao longo de discontinuidades geológicas, tais como falhas, junções, estratificações e contato entre rocha e solo (HIGHLAND e BOBROWSKY, 2008).

Os autores Highland e Bobrowsky (2008) destacam que altos índices pluviométricos podem ser a causa desse movimento. O mesmo pode ser antecipado por fissuras presentes no cume da encosta. Os processos de ruptura translacionais, de acordo com Pinheiro (2000), ocorrem associados ao perfil da encosta retilínea, onde o ângulo de inclinação é aproximadamente constante.

Figura 7: Mecanismo do movimento translacional de massas de solo.



Fonte: Hutchinson (1988) *apud* Pinheiro (2000).

Escoamento é a extensão lateral de uma massa de solo ou rocha combinada com um movimento geral de subsidência, dentro de um material inferior mais mole (CRUDEN e VARNES, 1996).

A partir da definição de Highland e Bobrowsky (2008), escoamento é extensão de uma massa coesiva, formada de solo ou rocha, combinada a um generalizado afundamento da superfície da massa fraturada de material coesivo para uma cama inferior de material menos rígido. Ocorre, geralmente, em terrenos planos ou taludes de baixa inclinação. Pode apresentar velocidades lentas ou, até mesmo, rápidas, se o mecanismo de desencadeamento for terremoto.

Corridas é o movimento espacial contínuo, no qual as superfícies de cisalhamento, normalmente, não são preservadas e estão bastante próximas (CRUDEN e VARNES, 1996). Os componentes de velocidade na massa que se desloca são semelhantes a um líquido viscoso.

Leroueil *et al.* (1996) *apud* Cascini (2005) também foram os primeiros a introduzir o conceito dos estágios de pré-ruptura, pós ruptura e reativação. No período de pré-ruptura a taxa de deslocamento é caracterizada por pequenos valores devido a alta rigidez do solo. A ocasional reativação da ruptura é geralmente caracterizada por pequenos deslocamentos.

2.4 ANÁLISE DE RISCO

Em publicação organizada pela Organização das Nações Unidas - ONU, 2004, “Living with Risk: a global review of disaster reduction initiatives”, risco é a probabilidade de consequências prejudiciais ou danos esperados (morte, ferimento de pessoas, degradação ambiental) resultantes da interação entre perigos naturais ou induzidos pela ação humana e as condições de vulnerabilidade. Dessa forma, a estimativa de risco apresenta-se como uma avaliação do perigo e sua interferência na vida humana.

Ao conceituar risco, o “Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes” (2008), o define como a medida da probabilidade e severidade de um efeito adverso à saúde, propriedade ou meio ambiente. O risco é frequentemente estimado pelo produto da probabilidade de um fenômeno de uma dada magnitude, multiplicado por suas consequências.

De acordo com essa definição, Carvalho (1996) adota como definição de risco geotécnico a consequência (ou dano) esperada de eventos aleatórios associados aos

processos de instabilização de maciços naturais, maciços artificiais ou obras geotécnicas expressas pela equação:

$$R = \sum (P_i \times C_i)$$

Equação 1

Onde:

R= risco geotécnico

P_i= probabilidade de ocorrência do evento aleatório

C_i= consequência ou dano do evento aleatório

A partir dessa definição pode-se dizer que a análise de risco compreende não somente o estudo da probabilidade de ocorrência dos acidentes, mas também o potencial de perdas econômicas e sociais associadas, as quais expressam a vulnerabilidade (BRESSANI, 2008).

Nesse sentido, fica evidente que muitos fatores estão envolvidos em processos de escorregamentos (deslizamentos), desde geológicos até de ordem social, principalmente, em áreas urbanas carentes de planejamento, que necessitam de um arcabouço de informações, complexo e generoso em tamanho, para que seja possível a sustentação da avaliação de riscos a eventos de deslizamentos.

Varnes (1984) *apud* Cascini (2005) define risco como sendo:

$$R = (H \times V) \times E$$

Equação 2

Onde:

Perigo natural (H): probabilidade média de ocorrer em uma área um fenômeno potencialmente danoso dentro de um período de tempo;

Elementos em risco (E): população média, propriedades, atividades econômicas.

Vulnerabilidade (V): grau de perda médio para um dado elemento resultado da ocorrência de um fenômeno natural em uma dada magnitude. Expresso em uma escala de 0-10;

Cerri (1993) descreve que o acidente geológico é um acontecimento no qual a ocorrência de um processo de natureza geológica, ou seja, um fenômeno envolvendo o solo e/ou a rocha, provocou consequências ao homem ou as suas propriedades. O mesmo autor afirma que o risco geológico é uma condição potencial para a ocorrência de um acidente, ou seja, a probabilidade de um fato acontecer indica a possibilidade de ser registrada a consequência social e/ou econômica, caso o processo adverso de fato ocorra. Desse modo, conceitualmente, só há risco quando há alguma possibilidade de perda ou dano.

Apoiado neste conceito, risco (R) corresponde à probabilidade (P) de ocorrer um acidente associado a um determinado perigo ou ameaça (A), que possa resultar em consequências (C) danosas às pessoas ou a bens, em função da vulnerabilidade (V) do meio exposto ao perigo e que pode ter seus efeitos reduzidos pelo grau de gerenciamento (g), administrado por agentes públicos ou pela comunidade (CERRI, 2004). Essa relação pode ser expressa na seguinte equação:

$$R = P(fA) \times C(fV) \times g^{-1} \quad \text{Equação 3}$$

Segundo Tominaga (2007), dois elementos são fundamentais na formulação do risco: o perigo de se ter um evento, fenômeno ou atividade humana potencialmente danosa, e a vulnerabilidade, ou seja, o grau de perda do elemento exposto ao perigo. Dessa forma, o risco é a avaliação mais completa, pois envolve a frequência, as consequências e as características do movimento.

Na definição do “Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes” (2008), perigo é uma condição com o potencial de causar uma consequência indesejável dentro de um período de tempo. A descrição de um perigo de deslizamento deve incluir o local, o volume (ou área), a classificação e a velocidade dos deslizamentos em potencial e materiais desses resultantes, além da probabilidade de sua ocorrência dentro de um período de tempo determinado.

Já a definição de suscetibilidade é uma análise quantitativa ou qualitativa da classificação, do volume (ou área) e da distribuição espacial de escorregamentos que existem ou podem ocorrer em uma área. A suscetibilidade também pode incluir uma descrição da velocidade e da intensidade do deslizamento existente ou em potencial (JOINT TECHNICAL COMMITTEE ON LANDSLIDES AND ENGINEERED SLOPES, 2008).

De uma maneira geral, a suscetibilidade é a avaliação do evento de deslizamento em uma área que não sofreu interferência pela ocupação humana, sendo dessa forma, possível avaliar, se o local é passível de deslizamento com o conhecimento técnico adquirido.

Para definir perigo, é necessário ter uma avaliação pelo menos qualitativa dos vários fatores que interferem no evento de deslizamento e, assim, avaliar as suas potenciais consequências.

Risco pode ser entendido como uma avaliação do deslizamento que, de alguma forma, se torna iminente, visto que existem as evidências do evento de deslizamento, podendo, assim, quantificar sua probabilidade de ocorrência e potencial dano.

Para a ONU (2004), a avaliação de risco envolve o uso sistemático de informações para determinar a probabilidade de que certos eventos ocorram e a magnitude de suas possíveis consequências. Como procedimento geral inclui-se os seguintes passos:

- Identificação da natureza, localização, intensidade e probabilidade de uma ameaça ou perigo;
- Determinação do grau de vulnerabilidade e exposição a perigos;
- Identificação das capacidades e recursos para tratar ou gerenciar os perigos;
- Determinação do nível de risco aceitável.

Uma das formas de efetuar determinada análise de risco é através de mapas de deslizamento ou zoneamento de suscetibilidade de deslizamento. Esses modelos são adotados para a estimativa de risco de grandes áreas. Os mesmos devem fornecer informações relativas às probabilidades temporais e espaciais de todos os tipos de deslizamentos previstos para a área mapeada, bem como incluir dados sobre seus tipos, magnitudes, velocidades e tamanhos (BRABB, 1984 *apud* BRESSANI, 2008).

Infelizmente, nem sempre é possível obter com exatidão tais dados de magnitude, velocidade e tamanho do movimento, assim, uma análise qualitativa torna-se uma forma de obter a informação necessária.

O IUGS, Working Group – Committee on Risk Assessment (1997), reconhece dois grandes tipos de abordagens para a realização da análise de risco de deslizamento: a) análise qualitativa e b) análise quantitativa. Quando as análises são feitas de forma a originar possibilidades de ocorrência de processo de instabilização, elas tornam-se subjetivas, sendo classificadas como qualitativas. Ainda, considera-se que os riscos resultantes das análises qualitativas podem ser expressos por diferentes níveis ou graus escalonados.

A análise qualitativa envolve a caracterização do processo de instabilização, promove a delimitação espacial do local de risco, a avaliação da suscetibilidade e da magnitude das consequências potenciais e a atribuição de um nível de risco (CARVALHO, 1998). A caracterização do processo de instabilização envolve identificar o tipo de deslizamento, causas, volume de material, velocidades, tipo de solo, inclinação, altura do talude e indícios de movimento.

Nas análises de risco qualitativas mais sofisticadas, pode existir o incremento de um componente quantitativo dos parâmetros técnicos analisados (indicadores), mesmo que estes números resultem da experiência e do julgamento de especialistas.

A experiência de técnicos nesse tipo de análise é muito válida, visto que uma das formas de identificar áreas suscetíveis se dá através de investigações de campo, que irão caracterizar a geologia local, o solo, o relevo e a vegetação.

No que se refere aos riscos de natureza geológica, é comum que as atividades que resultam na identificação e na análise ou avaliação dos riscos sejam realizadas por meio de investigações geológico-geotécnicas de campo. Tais investigações requerem a consideração, tanto da probabilidade (ou possibilidade) de ocorrência do evento adverso (os processos de instabilização associados a deslizamentos em encostas e a solapamentos de margens de córregos), quanto das consequências sociais e/ou econômicas associadas (CERRI, 2004).

A partir dos estudos de campo, identificam-se as características envolvidas, fazendo observações e avaliações que poderão ser fortes indícios de eventos, não sendo a melhor forma de prevenção de risco.

Em Geologia de Engenharia, a avaliação da probabilidade (ou possibilidade) de um determinado fenômeno físico ocorrer em um local e período de tempo definidos, leva em conta as características específicas do processo adverso em questão, especialmente, a sua tipologia, mecanismo, material envolvido, magnitude, velocidade, tempo de duração, trajetória, severidade, etc. (SANTOS, 2002).

De forma a avaliar quantitativamente o movimento de massa, o julgamento de especialistas permite o levantamento de todos os elementos em risco e as suas vulnerabilidades (CARVALHO, 1998).

Morgenstern (1997) afirma que análises qualitativas, conduzidas por métodos de hierarquização de riscos relativos variam em detalhamento e complexidade e, muitas vezes, satisfazem as necessidades práticas de gestores, fornecendo elementos para a mitigação dos riscos identificados.

Mesmo reconhecendo as eventuais limitações, imprecisões e incertezas inerentes à análise qualitativa de riscos, os resultados dessa atividade podem ser decisivos para a eficácia de uma política de intervenções voltada à consolidação da ocupação. Para tanto, é imprescindível a adoção de métodos, critérios e procedimentos adequados, bem como a construção de detalhados modelos de comportamento dos processos adversos. Tais condicionantes, aliados à experiência da equipe executiva nas atividades de identificação e de análise de riscos, podem subsidiar a elaboração de adequados

programas de gerenciamento de riscos, que acabam por reduzir, substancialmente, a ocorrência de acidentes geológicos, bem como tornar mínima a dimensão de suas consequências.

Segundo Nogueira (2002), o gerenciamento de riscos é um dos instrumentos de gestão urbana que ganha destaque neste momento de intenso debate sobre as alternativas para a crise das cidades. Integrado a outras políticas públicas, pode ser de grande utilidade para reduzir os níveis atuais de perdas causadas por acidentes e segregação sócio-espacial, melhorar a qualidade do ambiente urbano e democratizar as cidades.

Uma forma de melhorar o ambiente urbano é através da realização de um estudo que identifique as zonas com diferentes graus de risco e, assim, defina, também, diferentes graus de intervenção.

A técnica e a ciência podem fornecer elementos muito importantes para a minimização de riscos, se produzirem instrumentos adequados à realidade ambiental, administrativa, sócio-cultural e orçamentária das municipalidades, passíveis de ampla utilização, leitura e de atualização permanente (NOGUEIRA, 2002).

O principal limitador para a implantação de uma política de prevenção de risco é o déficit de colaboradores com conhecimento técnico adequado do assunto. Profissionais com essa capacitação poderiam viabilizar ações de prevenção e não somente intervenções de remediação dos danos.

Carvalho e Hachich (1997) alertam que as prefeituras, quando assumem a implantação de um sistema de gerenciamento de riscos que não se limita à ação de resgate de vítimas, deparam-se com uma tarefa complexa, em que os recursos financeiros são escassos, as áreas de risco numerosas e os níveis de risco, assim como os custos de intervenção, diferenciados para as diversas áreas da cidade.

Bolt, Horn, Macdonald e Scott (1975) definem duas grandes formas de determinação dos graus de risco geológico de uma dada área: a) análise relativa, por meio da simples comparação entre as situações de risco identificadas, sem cálculos

probabilísticos quanto à ocorrência (risco relativo); e b) análise probabilística, por meio da apresentação da probabilidade de ocorrência do acidente geológico, em determinado intervalo de tempo (risco probabilístico).

Nesse ponto, a avaliação da probabilidade de ocorrência de um evento se torna de difícil mensuração, até mesmo para o especialista, visto que a maioria dos fatores são alheios à ação humana.

É importante lembrar que Nardocci (1999) afirma que, mesmo que o cálculo da probabilidade de ocorrência de um evento seja preciso, exato, será apenas uma probabilidade. Medir com precisão a probabilidade de ocorrência de um evento não trará a certeza de ocorrência ou não desse evento, tampouco permitirá conhecer o momento em que acontecerá. Para sanar o problema de precisão na probabilidade de eventos, é possível instituir índices a fim de definir a necessidade de intervenção.

Carvalho (2000) descreve que a maneira mais simples de se tratar a probabilidade em análises de risco consiste em se atribuir níveis definidos de forma literal (possibilidade de ocorrência baixa, média ou alta, por exemplo à possibilidade de ocorrência do processo de instabilização).

Essa é a base para as análises de risco de caráter qualitativo, em que um profissional experiente avalia o quadro de condicionantes e indícios da ocorrência do processo de instabilização, compara as situações encontradas com modelos de comportamento e, baseado em sua experiência, hierarquiza as situações de risco em função da possibilidade de ocorrência do processo em um determinado período de tempo, geralmente, um ano (Carvalho 2000).

De forma diferente, a análise das consequências em uma de suas parcelas torna-se mais palpável. Carvalho (2000) afirma que sua avaliação envolve sempre um julgamento a respeito dos elementos em risco e de sua vulnerabilidade. É comum que nas análises realizadas em favelas, apenas as moradias sejam consideradas como elementos em risco.

Nogueira (2002) descreve que a consequência decorrente de um acidente é função da vulnerabilidade, a qual dependente da suscetibilidade de pessoas e/ou bens a serem afetados, bem como da “resiliência” dos elementos expostos. O termo “resiliência”, empregado pelo autor, se traduz na capacidade de resposta de uma determinada população supostamente afetada por um acidente, ou seja, na habilidade de as pessoas reagirem ao sinistro e recuperarem a condição normal, anterior ao evento.

Percebe-se a complexidade da tarefa de estimar o risco, mesmo sendo uma ferramenta muito valiosa para os municípios, pois, aliado a indicação da ocupação urbana pelo zoneamento, irá definir o planejamento.

A partir desses levantamentos e caracterização de áreas com aptidão ou áreas com fragilidade a eventos de movimentos de massa de solo, é possível criar um mapa de zoneamento, em que se podem identificar locais semelhantes na suscetibilidade e áreas com risco eminente, as quais precisam de intervenção com urgência.

Cerri (1993) discorre sobre as características dos mapeamentos de risco de deslizamento em encostas ocupadas. Resumidamente, o autor citado descreve que os trabalhos podem ser realizados em dois níveis de detalhe distintos: o zoneamento e o cadastramento. No zoneamento de risco são delimitadas áreas – ou setores – nos quais encontram-se instaladas várias moradias. Para cada área ou setor identificado, é atribuído um mesmo grau de risco, muito alto, por exemplo. Esse grau de risco é atribuído para todo o setor, embora possa haver algumas moradias em meio a essa área que não apresentem risco tão elevado e, eventualmente, até mesmo sem risco (CERRI, 2003). Essa análise também deve levar em consideração o local onde está instalado o evento e a área próxima que será diretamente ou indiretamente afetada.

O zoneamento deve considerar todos os deslizamento que podem afetar a área de estudo e incluir, tanto deslizamento que ficam acima da área de estudo, mas que podem deslocar-se até ela, quanto deslizamentos abaixo da área de estudo que podem regressivamente mover-se morro acima (JOINT TECHNICAL COMMITTEE ON LANDSLIDES AND ENGINEERED SLOPES, 2008).

Já no cadastramento de risco de deslizamento em encostas ocupadas, os trabalhos de mapeamento são executados em grau de detalhe bem maior que nos casos de zoneamentos, sendo que os riscos são identificados e analisados moradia por moradia (CERRI 2003).

Os zoneamentos podem ser divididos em suscetibilidade, perigo e risco. O zoneamento de suscetibilidade envolve a pesquisa de avaliação de deslizamento no futuro, sem avaliar a frequência. O zoneamento de perigo faz uma avaliação mais completa que a metodologia anterior, visto que, a partir do zoneamento de suscetibilidade, são adicionadas informações com relação à frequência e à probabilidade de possíveis deslizamentos. E, por fim, o zoneamento de risco considera o zoneamento avaliando as possíveis consequências, quer sejam relativas às pessoas, quer sejam referentes às propriedades (JOINT TECHNICAL COMMITTEE ON LANDSLIDES AND ENGINEERED SLOPES, 2008).

É importante salientar que dependendo do zoneamento realizado de suscetibilidade, perigo ou risco gerará uma resposta, sendo, dessa forma, os resultados muito relativos à profundidade do estudo.

A construção de modelos de comportamento dos processos adversos, ou seja, o entendimento dos processos geológicos no nível e profundidade compatíveis com o estudo que está sendo realizado assume papel determinante para o sucesso dos resultados a serem obtidos nos mapeamentos de risco e, não menos importante, na escolha da(s) alternativa(s) de intervenção mais adequada(s) à cada situação em particular (CERRI, 2004).

O recurso de zoneamento dos riscos é uma ferramenta importante na prevenção de danos, na definição das áreas as quais serão destinados maiores recursos financeiros por parte do governo municipal e na organização de sistema de alerta para movimentos de massa nas regiões identificadas como de potencial ruptura.

2.4.1 Sistema de aviso para deslizamento

Thiebes (2012) afirma que é necessário ter presente que um sistema de aviso para deslizamentos envolve sistemas de prevenção e sistemas de reação. Para que avisos de deslizamentos sejam eficientes é imprescindível que se tenha:

1. Conhecimento do risco que a população está submetida;
2. Monitoramento e serviço de avisos para esses riscos;
3. Disseminação e comunicação de mensagens de perigo de uma maneira que a população local possa compreender;
4. Capacidade de resposta capaz de envolver a população, quem necessita conhecer e reagir em caso de perigo.

Sistemas de prevenção são fortemente influenciados pelo conhecimento dos processos que objetivam entender o tamanho, extensão, severidade, duração e etc. o tempo entre o perigo e a ocorrência do desastre é importante no sistema de prevenção e pode ser de segundos a meses.

O evento de deslizamento é o elemento crítico dentro do sistema de alerta. A prevenção deve ser passada para população através de uma forma adequada, vários podem ser os formatos de comunicação, no entanto é dependente de decisões sociais e políticas e de um arcabouço legal.

Quando a população não é informada sobre os perigos potenciais, suas consequências e suas possíveis ações de proteção, o alerta inicial não será efetivo. É importante que na eminência de um desastre as pessoas possam mover-se, porém a infra-estrutura construída não é móvel, isso significa que o mesmo havendo a prevenção o dano não será totalmente evitado.

Thiebes (2012) ainda sugere que o sistema de alarme para deslizamento poderia ser implementado através do monitoramento de intensidade e duração da chuva. O

monitoramento das chuvas que ocorrem na região serve como ferramenta do sistema de alarme de perigo. Estudos relatados mencionam que são avaliados a precipitação entre 24 horas, 48 horas e 96 horas e que ações de prevenção são tomadas a partir de eventos de 70 mm, 100 mm ou quando em 4 horas a chuva excede 175 mm.

2.5 ANÁLISE DE SUSCETIBILIDADE

O grupo “Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes – JTC1” é um comitê técnico internacional sobre taludes naturais e deslizamentos. É composto por representantes da Sociedade Internacional de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (ISSMGE), da Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas (ISRM) e da Associação Internacional de Engenharia de Geologia e Ambiental (IAEG).

Esse comitê elaborou um documento que serve como guia para as análises de suscetibilidade, perigo e risco, intitulado: “JTC1 Guidelines for Landslide Susceptibility, Hazard and Risk Zoning”. A seguir é apresentada a metodologia para análise de suscetibilidade e zoneamento, que será o texto base para o trabalho.

2.5.1 Metodologia proposta pelo Comitê Técnico em deslizamento e Taludes Artificiais (2008)

Zoneamento de Suscetibilidade a deslizamentos proposto pelo “Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes” (2008) envolve a classificação (nomenclatura), a área ou o volume (magnitude) e a distribuição espacial de deslizamentos existentes ou potenciais na área de estudo. Também pode incluir a descrição da distância de deslocamento, de velocidade e de intensidade do deslizamento existente ou em potencial.

A análise de suscetibilidade é apresentada como uma ferramenta inicial. Serve para o conhecimento geral da área, estudo preliminar para aprofundamentos em análises de perigo e risco somente dos locais que apresentaram indícios de suscetibilidade a deslizamentos.

Nesse estudo inicial é possível inferir, se uma determinada área, “é suscetível” ou “não é suscetível” a deslizamento, podendo ainda classificar o local em diferentes níveis de suscetibilidade a deslizamentos: muito alto, alto, moderado, baixo e muito baixo, através da atribuição de pesos para cada parâmetro que está sendo analisado.

Cascini (2008) sugere as análises de suscetibilidade em três níveis de aprofundamento:

1. Mapa de inventário de deslizamento: envolve a localização, classificação, volume, atividade e dados de ocorrência de deslizamentos existentes na área;
2. Zoneamento de suscetibilidade a deslizamentos: envolve a classificação, volume e a distribuição espacial de deslizamentos potenciais na área. Também poderá incluir na análise a descrição da velocidade, distância percorrida e intensidade de eventos já ocorridos ou em potencial.
3. Zoneamento de perigo a deslizamentos: irá estimar a frequência dos deslizamentos que já ocorreram e os que são prováveis de acontecer, bem como analisar áreas que estão fora do perímetro em estudo, visto que esses deslizamentos podem trazer materiais e danos para a zona de interesse;

Não existe um procedimento único capaz de estimar o potencial de deslizamento de cada tipo de solo e a distância esperada do deslocamento do deslizamento. Na verdade, os fatores condicionantes (ângulo da encosta, litologia, condições dos lençóis d'água, etc.) são específicos para cada mecanismo de deslizamento.

Frequentemente é necessário analisar separadamente a suscetibilidade, o perigo e o risco para os diferentes tipos de deslizamentos que podem afetar a área (por

exemplo, quedas de rochas, deslizamentos pequenos e superficiais ou grandes e profundos) e representar os resultados em mapas de zoneamento específicos, pois as recomendações para atenuar o risco podem ser diferentes para cada tipo de deslizamento (BRESSANI, 2008).

O tipo e o nível de detalhamento do zoneamento, bem como a escala dos mapas depende do objetivo do zoneamento e de vários outros fatores, como pode ser analisado nos itens seguintes:

- Estágio de desenvolvimento do plano ou projeto de zoneamento: zoneamento de suscetibilidade e zoneamento de perigo são os mais utilizados em estágios preliminares de desenvolvimento, enquanto o zoneamento de risco é utilizado em estágios mais avançados;

- Classificação, atividade, volume ou intensidade do deslizamento: o zoneamento de risco é mais necessário nos locais em que os deslizamentos têm alta probabilidade de se deslocarem rapidamente ou têm uma alta intensidade, medida pela combinação do volume e da velocidade (por exemplo, queda de rochas, detritos, avalanches);

- Quantidade e qualidade de informação disponível: o zoneamento quantitativo de risco e perigo não pode ser realizado em situações em que os dados sobre a frequência de deslizamentos não existem ou são tão incertos que não podem ser confiados. Nesses casos, o zoneamento de suscetibilidade é o recomendado.

O Quadro 5 resume as escalas de mapas e inventários de deslizamentos, mapeamento de suscetibilidade, perigo e risco para os quais elas são aplicadas. Mapas de zoneamento de deslizamentos devem ser preparados em escala apropriada para mostrar a informação necessária em um nível de zoneamento específico. A escala deve ser selecionada levando em consideração os objetivos do mapa. Na prática, no entanto, pode ser controlada pela escala dos mapas topográficos disponíveis.

Quadro 5: Escalas de mapeamento para zoneamento de deslizamentos e sua aplicação.

| Descrição da escala | Variação indicativa das escalas | Exemplo de aplicação de zoneamento | Área típica de zoneamento |
|----------------------------|--|---|--|
| Pequena | <1:100.000 0 | Inventários de deslizamentos e susceptibilidade para informar tomadores de decisões e público em geral | >10.0000 km ² |
| Média | 1:100.000 a 1:25.0000 | Inventário de deslizamento e zoneamento de susceptibilidade para construções regionais, ou projetos de engenharia de grande porte. Mapeamento de perigo nível preliminar para áreas locais. | 1.000 – 10.000 km ² |
| Grande | 1:25.000 a 1:5.000 | Inventário de deslizamentos, zoneamento de perigo e susceptibilidade para áreas locais, zoneamento de perigo e nível intermediário e avançado para obras de desenvolvimento regional, zoneamento de risco de nível preliminar a intermediário para áreas locais e estágios avançados de planejamento de projetos de engenharia de grande porte, estradas e ferrovias. | 10 -1.000 km ² |
| Detalhada | > 5.000 | Zoneamento de perigo e risco de nível intermediário e avançado para locais e sítios específicos e para a fase de design da construção de estruturas de engenharia de grande porte, estradas e ferrovias | Muitos hectares ou dezenas de km ² |

Fonte: “Joint technical committee on landslides and engineered slopes” (2008).

A metodologia menciona a importância do uso do Sistema de Informação Geográfica (SIG) para o zoneamento de deslizamentos, visto que é possível inserir

diversas informações referentes à área como: geologia, ocupação do solo, característica geotécnica, entre outras.

O inventário de eventos de deslizamento também é considerado essencial por essa metodologia, contendo informações sobre o volume de solo movimentado, alcance e classificação do deslizamento. O Quadro 6 define as atividades necessárias para realizar um inventário de escorregamento.

Quadro 6: Informações necessárias para realizar um inventário de deslizamento.

| Método de caracterização | Atividades |
|---------------------------------|--|
| Básico | Preparar um inventário da área a partir de fotografias aéreas e/ou imagens de satélite e através do mapeamento de registros históricos. O inventário inclui local, classificação, volume (ou área) e quando praticável a data de ocorrência do deslizamento. |
| | Identificar a relação entre topografia, geologia e geomorfologia |
| | Mostrar estas informações em mapas de inventário juntamente com a informação topográfica incluindo contornos, limites de propriedades, grades de linhas de mapeamento, estradas e outras características importantes como rios e seus cursos. |
| Intermediário | As mesmas atividades do método básico mais: |
| | Distinguir diferentes partes do deslizamento |
| | Mapear características do deslizamento e suas fronteiras |
| | Coletar e analisar informações históricas no estado da atividade de deslizamento |

| | |
|-----------------|--|
| | Analisar a evolução passada do uso da terra para saber de atividades humanas tiveram influência sobre a ocorrência de deslizamento |
| Avançado | As mesmas atividades do método intermediário mais: |
| | Preparar um inventário dos dados geotécnicos |
| | Implementar investigações para definir melhor as condições geotécnicas |
| | Análise geotécnica para entender processos de instabilidade de declives |
| | Catálogo temporal avançado de reativação de periódica do mesmo perigo e janelas de tempo de eventos desencadeadores para fornecer dados de inventário periódicos que podem então serem utilizados em abordagens de validação avançada. |

Fonte: “Joint technical committee on landslides and engineered slopes” (2008).

A preparação do mapa de suscetibilidade de deslizamento é normalmente baseada em duas premissas:

- que o passado é um guia para o futuro, de modo que existe a probabilidade de ocorrer deslizamentos no futuro em áreas que passaram por eventos como esse no passado;
- áreas com topografia, geologia ou geomorfologia similares às áreas onde ocorreram deslizamentos no passado também têm probabilidade de esses eventos se repetirem no futuro.

2.6 GEOPROCESSAMENTO

O primeiro uso do Sistema de Informação Geográfica (SIG) foi realizado na metade da década de 1960, pelo Canadá, que utilizava o SIG para identificar ilhas de nações pesquisadas e o potencial uso desses locais. Em 1970, o SIG foi a ferramenta usada para conduzir o censo populacional dos americanos. Desde então, a ferramenta tem sido amplamente utilizada para diversos fins como forma de tabular informações em mapas (LONGLEY *et al.*, 2011).

O SIG é um ambiente computacional onde se torna possível o cruzamento entre dados (imagem de satélite, cartas topográficas, cartas temáticas, aerofotogrametria, etc.) experiência e o conhecimento empírico/teórico do usuário desse sistema, permite a criação de um produto de análise de informações obtidas e a avaliação crítica ambiental cabível em cada situação temporal necessária (CERVANTES. 20013).

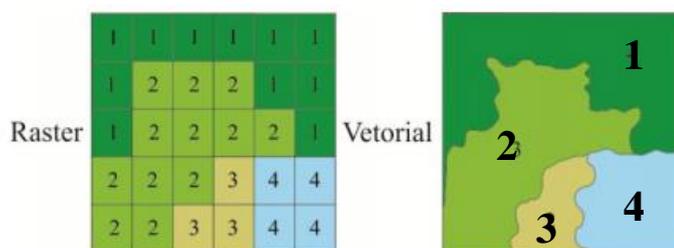
As aplicações da ferramenta SIG são diversas, tais como: governança e serviços públicos, negócios, transporte e logística, ambiental, representação de áreas, entre outras. São vários os usos, pois podem ser inseridas diversas informações em mapas como, por exemplo, acessibilidade de estradas, localização de rios, altitude, declividade, topografia, geologia, geomorfologia, densidade populacional e outras características que serão adequadas a determinados assuntos e aplicações específicas (LONGLEY *et al.*, 2011).

As aplicações das técnicas de mapeamento de informações específicas, dados de geologia, geomorfologia, vegetação, população e solo, que são úteis para questões relativas ao movimento de massa podem ser organizadas em técnicas de geoprocessamento. O geoprocessamento é um conjunto de tecnologias de coleta, tratamento, manipulação e apresentação de informações espaciais voltado para um objetivo específico (ROCHA *et al.*, 2012). Cervantes (2013) menciona que o geoprocessamento é um conjunto de conceitos, métodos e técnicas que se utiliza de um banco de dados de informações geograficamente localizadas para analisar, estudar e/ou

validar sistematicamente as propriedades e relações existentes entre as diferentes classes e seus atributos.

Para aquisição dos dados, a digitalização é a forma mais comum, apresentando um pequeno custo. A representação digital dessa aquisição de dados pode ser em dois formatos: *raster* (matricial) *vector* (vetorial). Na representação matricial, o espaço é dividido em retângulos (células), que podem ser chamadas de *pixels*. Essa pode, em algum momento, apresentar algumas distorções, não sendo exatamente igual à real, visto que a imagem é representada através de pequenos retângulos; enquanto no formato vetorial as linhas são capturadas como pontos e conectadas por uma linha reta (LONGLEY *et al.*, 2011).

Figura 8: Representação dos formatos digitais.



Fonte: Brito (2011).

O vetor é representado por nós (pontos), linhas e áreas. Esse conjunto de informações forma os dois tipos de atributos do mapa: arquivos gráficos e arquivos não gráficos (ROCHA *et al.*, 2012).

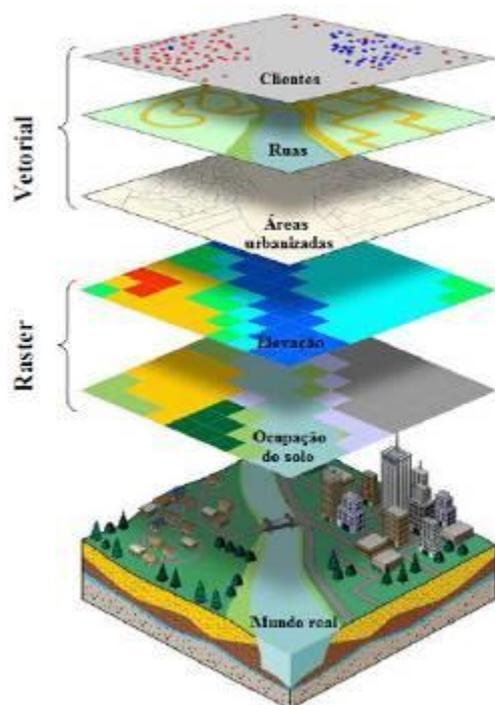
A essas representações, tanto matricial, quanto vetorial, são definidas coordenadas espaciais (x,y). Conhecendo a localização espacial de pontos, nós e linhas torna-se possível a atribuição de características qualitativas e quantitativas, as quais são ligadas através de geocódigos (ROCHA *et al.*, 2012).

Independentemente do modelo que será utilizado para ser trabalhado e, assim, gerar informações, quer seja matricial, quer seja vetorial, deve ser organizado de forma a criar um conjunto de camadas ou níveis contendo informações.

A principal vantagem da técnica de geoprocessamento é o poder de combinar informações e possibilitar a confecção de mapas que permitirão uma visão holística, sendo que o resultado poderá ser apresentado nas escalas que mais se adequarem ao objetivo do estudo.

Choi e Lee (2004) salientam a importância da ferramenta de geoprocessamento para a análise de áreas suscetíveis a eventos de deslizamentos. Os referidos autores mencionam que o principal passo da técnica é a coleta de dados, bem como a construção de um banco de dados espacial, em que relevantes fatores podem ser extraídos e, posteriormente, serem avaliados, usando uma relação de deslizamentos com os fatores que foram catalogados.

Figura 9: Níveis de informação em SIG.



Fonte: GEM, 2000 *apud* Brito (2011).

Atualmente, podem ser encontradas várias ferramentas computacionais que auxiliam na elaboração de mapas temáticos e na organização dos dados adquiridos. O programa IDRISI, por exemplo, é um software que integra funcionalidades direcionadas às aplicações em SIG e também ao processamento de imagens. Contém módulos que

permitem analisar, processar e visualizar os mais variados tipos de dados (CLARK LABS, 2013).

O IDRISI possui um conjunto de ferramentas de planejamento territorial, suporte à tomada de decisão e análise de áreas de risco associadas com ferramentas de estatística espacial, análise de superfície e modelagem espacial. Pelo fato de apresentar características condizentes com o objetivo deste trabalho e em razão da fácil manipulação, o referido programa foi utilizado na elaboração dos mapas temáticos de Igrejinha/RS.

A partir dos dados topográficos geoprocessados, é possível elaborar um Modelo de Elevação Digital (DEM), sendo que essa informação é uma das principais condicionantes de eventos de deslizamentos e, certamente, auxilia na análise preliminar de áreas sujeitas a futuros eventos.

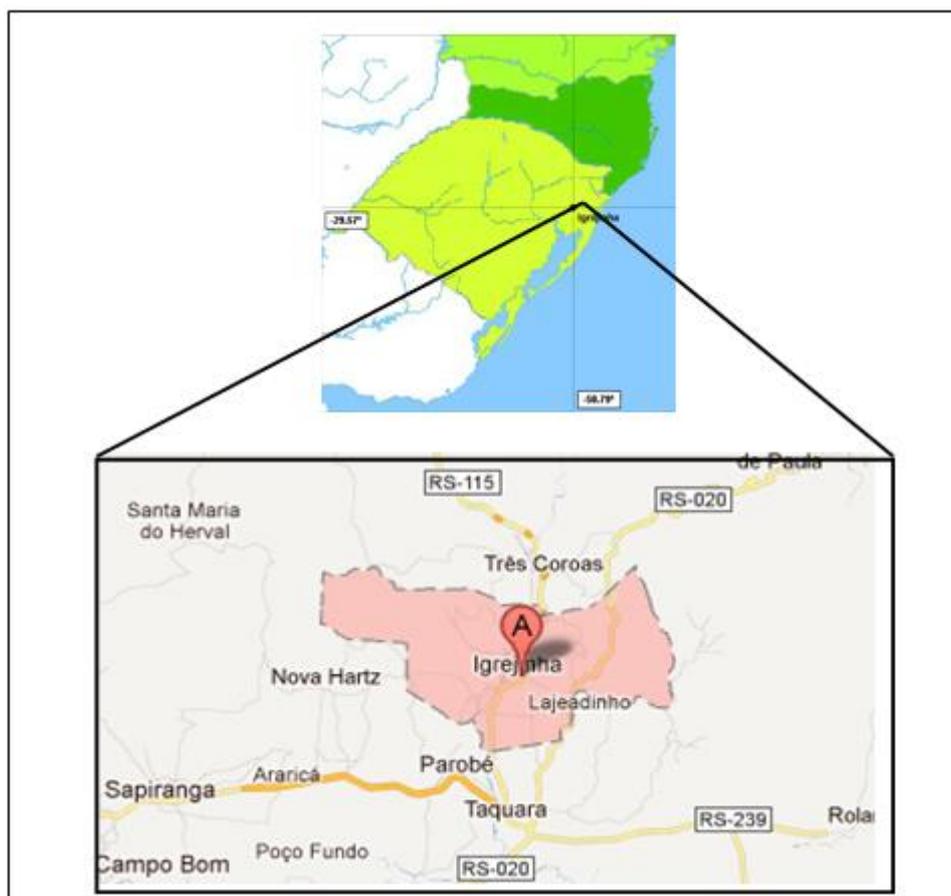
Vários autores têm utilizado a ferramenta de geoprocessamento para mapear áreas com suscetibilidade a deslizamentos por que ela é efetiva para a manipulação espacial e o gerenciamento de dados, podendo realizar um estudo por métodos probabilísticos como demonstram (Rowbotham e Dudicha, 1998, Wu *et al.*, 2001, Donati e Turrini, 2002), por métodos de regressão (Atkinson e Massari, 1998, Dai e Lee, 2002) e também autores como Lee (2004) e Choi e Lee (2004).

Devido a essas formas de captação de dados, é possível estabelecer uma quantificação para o zoneamento de risco, tornando-o, dessa forma, mais viável e palpável do ponto de vista técnico.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Igrejinha está localizado no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Faz parte da Região Nordeste do referido Estado, localizando-se geograficamente, de acordo com as seguintes coordenadas georreferenciadas: latitude: 29° 34' 17''S longitude: 50° 48' 03''W. A Figura 10 apresenta sua posição geográfica em relação ao Estado do Rio Grande do Sul.

Figura 10: Localização do município de Igrejinha no Estado do Rio Grande do Sul.



Fonte: IBGE, 2012 e GOOGLE MAPS, 2012.

Segundo o censo realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2010, o município de Igrejinha apresentava população de 31.660 habitantes. A área total é de 136 km² e a densidade demográfica urbana de 233,03 hab/km². Inserida na Região do Vale de Paranhana, a cidade, ainda hoje, possui população, predominantemente, de origem alemã e é uma das maiores produtoras de calçados femininos do País.

Está localizada na região fisiográfica da Encosta Inferior do Nordeste do Rio Grande do Sul. A área urbana do município situa-se em baixa altitude, com média de 18 metros acima do nível do mar. O interior tem um relevo bastante acidentado e o ponto mais alto apresenta 773 metros de altitude, encontram-se no Morro dos Alpes, na localidade de Serra Grande.

A hidrografia abundante, a baixa altitude, e a proximidade das encostas provocam uma elevada umidade relativa do ar, originando o desconforto climático em diversas épocas do ano. Devido às barreiras formadas pelas encostas do vale, os ventos dominantes sofrem um pequeno desvio, soprando na direção nordeste (AZAMBUJA, 2011).

Igrejinha integra a Bacia Hidrográfica do rio dos Sinos, a cidade é cortada pelo rio Paranhana e por vários riachos e nascentes, totalizando 80,6 quilômetros de extensão. O Rio Paranhana também banha outros municípios do Vale como Três Coroas, Taquara e Parobé.

De acordo com Riffel *et al.* (2012), o rio Paranhana recebe as águas transportadas do Rio Caí e das barragens do Salto, Divisa e Blang. Tem suas nascentes localizadas no município de Canela, Gramado e São Francisco de Paula, a cerca de 900 metros de altitude. A confluência com o rio dos Sinos ocorre em Taquara a 20 mde altitude.

O rio Paranhana, Figura 11, é um afluente do Rio dos Sinos, o qual deságua no Delta do Jacuí, seguindo pelo Lago Guaíba, Lagoa dos Patos e, finalmente, para o Oceano Atlântico. As águas correm do Norte para o Sul. Os afluentes da margem esquerda do rio Paranhana, em Igrejinha, são os arroios Kampf, Ludovico, Koetz e

Além. Na margem direita, são afluentes os arroios Ceroula, Canto dos Renck, Voluntária, Nicolau, Solitária e Sanga Funda.

As águas do rio Paranhana correm no sentido Norte a Sul. A vazão máxima transportada é de 9 m³/s; a vazão média mensal se situa no intervalo de 3 m³/s a 5 m³/s e mínima assegurada é de 2 m³/s (PANTE, 2006 *apud* RIBEIRO *et al.*, 2012).

Figura 11: Paisagem do Rio Paranhana.



Fonte: AZAMBUJA, 2011.

3.1 INVENTÁRIO DE EVENTOS DE ENCHENTES E DESLIZAMENTOS

A partir do documento da Defesa Civil do município, foi possível fazer uma compilação de todos os eventos ocorridos em Igrejinha, como pode ser verificado nos Quadro 7 e Quadro 8 expostos a seguir.

Quadro 7: Eventos de inundação ocorridos em Igrejinha.

| Data | Descrição | Fator desencadeador | Dano |
|------------------------------------|---|----------------------------|--|
| 28 de junho de 1982 | Decretado estado de calamidade pública pelas cheias do Rio Paranhana inundando cerca de 80% do município | Sem informação | Sem informação |
| 12 de agosto de 1985 | Decretado estado de calamidade pública pelas cheias do Rio Paranhana inundando grande parte da zona urbana | Sem informação | Sem informação |
| 23 de fevereiro de 1994 | Decretado estado de emergência em virtude das fortes chuvas, causando alagamentos na cidade em função de transbordamento de arroios | Sem informação | Sem informação |
| 15 de novembro de 2002 | Decretado situação de emergência em virtude das fortes chuvas, causando alagamentos na cidade | Sem informação | Sem informação |
| 26 e 27 de setembro de 2009 | Decretado situação de emergência em virtude das fortes chuvas, causando alagamentos na cidade e estragos em vias públicas | Sem informação | Sem informação |
| 13 de novembro de 2009 | Sem informação | Precipitação: 200 mm | Bairros atingidos: 6 Pessoas desalojadas: |

| | | | |
|------------------------------|---|--------------------------|--|
| | | | 610 Pessoas desabrigadas: 28 |
| 10 de janeiro de 2010 | Decretado situação de emergência em virtude das fortes chuvas, causando alagamentos em grande parte da cidade, danos no setor agrícola, danos em infra-estrutura da cidade, danos ao comércio e indústria | Precipitação: 200 mm/24H | Todo município atingido Desalojados: 32. 882 pessoas Desabrigados: 100 pessoas |
| 20 de julho de 2011 | Decretado situação de emergência em virtude das fortes chuvas, ocasionando enxurradas em diversos bairros da cidade | Sem informação | Bairros atingidos: 10 Desalojados: 898 Desabrigados: 50 pessoas |

Fonte AZAMBUJA, 2011.

Quadro 8: Eventos históricos de deslizamentos no município de Igrejinha.

| Data | Descrição | Fator desencadeador | Dano |
|--------------------------------|--|----------------------------|----------------|
| 02 de dezembro de 1987 | Decretado estado de calamidade pública também pelos deslizamentos de terra provocados por forte temporal, interrompendo o tráfego em várias estradas | Sem informação | Sem informação |
| 12 de fevereiro de 1992 | Decretado estado de emergência em virtude de forte tempestade, causando morte, destruição de propriedades rurais, | Sem informação | Sem informação |

| | | | |
|------------------------------|---|--------------------------|---|
| | deslizamento de terra | | |
| Setembro de 2000 | Deslizamento de terra na Rua José Augusto Hetz Bairro Figueira | Sem informação | Sem informação |
| 10 de janeiro de 2010 | Decretado situação de emergência em virtude das fortes chuvas, causando deslizamento de terra no Bairro Garibaldi | Precipitação: 200 mm/24H | Deslizamento: 3 casas Todo município atingido Desalojados: 32. 882 pessoas Desabrigados: 100 pessoas |
| 23 de abril de 2011 | Decretado situação de emergência em virtude das fortes chuvas, causando deslizamento de terra na Rua Alziro Bischoff Bairro Saibreira | Sem informação | Deslizamento: 6 casas Desabrigados: 24 pessoas Mortes: 7 pessoas |

Fonte: AZAMBUJA, 2011.

Como se pode constatar a partir do documento elaborado pela Defesa Civil de Igrejinha, a cidade apresenta problemas significativos no que se refere a situações de alagamento e deslizamento de solo, visto que o município encontra-se inserido em meio ao vale, fato que facilita a entrada de água pela drenagem das encostas, e também pelo fato de o seu desenvolvimento ter se dado ao longo de um rio.

3.2 PLANO DIRETOR DE IGREJINHA – LEI 3.824/ 2006

O Plano Diretor é obrigatório para os municípios que possuem população acima de 20.000 pessoas, caso de Igrejinha que possui 31.660 habitantes. Essa é uma lei que define as diretrizes para a ocupação urbana e rural, entre outras ações cabíveis ao

âmbito municipal. Dessa forma, torna-se uma ferramenta muito pertinente para a avaliação das áreas com suscetibilidade a eventos de deslizamento.

A Lei 3.824/2006, Plano Diretor de Igrejinha, definiu as atividades permissíveis para as diferentes áreas municipais, com classificações distintas, apresentado no

Pode-se inferir com a classificação estabelecida pela prefeitura que, mesmo as áreas que apresentaram eventos de deslizamento anteriormente à criação do instrumento legal do Plano Diretor, não tiveram nenhuma ressalva com relação a sua ocupação. O mesmo pode-se averiguar a partir dos eventos de inundação do rio Paranhana. Em anexo, estarão apresentadas com mais detalhes as especificações de cada zona.

Percebe-se falta de planejamento por parte do município de Igrejinha, com relação aos eventos de deslizamento, visto que os bairros onde ocorreram os deslizamentos, como poderão ser verificados posteriormente, têm as seguintes atividades definidas pelo zoneamento: zona residencial 1 (ZR1), zona residencial 2 (ZR2), zona comercial 1 (ZC1), zona comercial 2 (ZC2) e zona residencial de interesse social (ZIS).

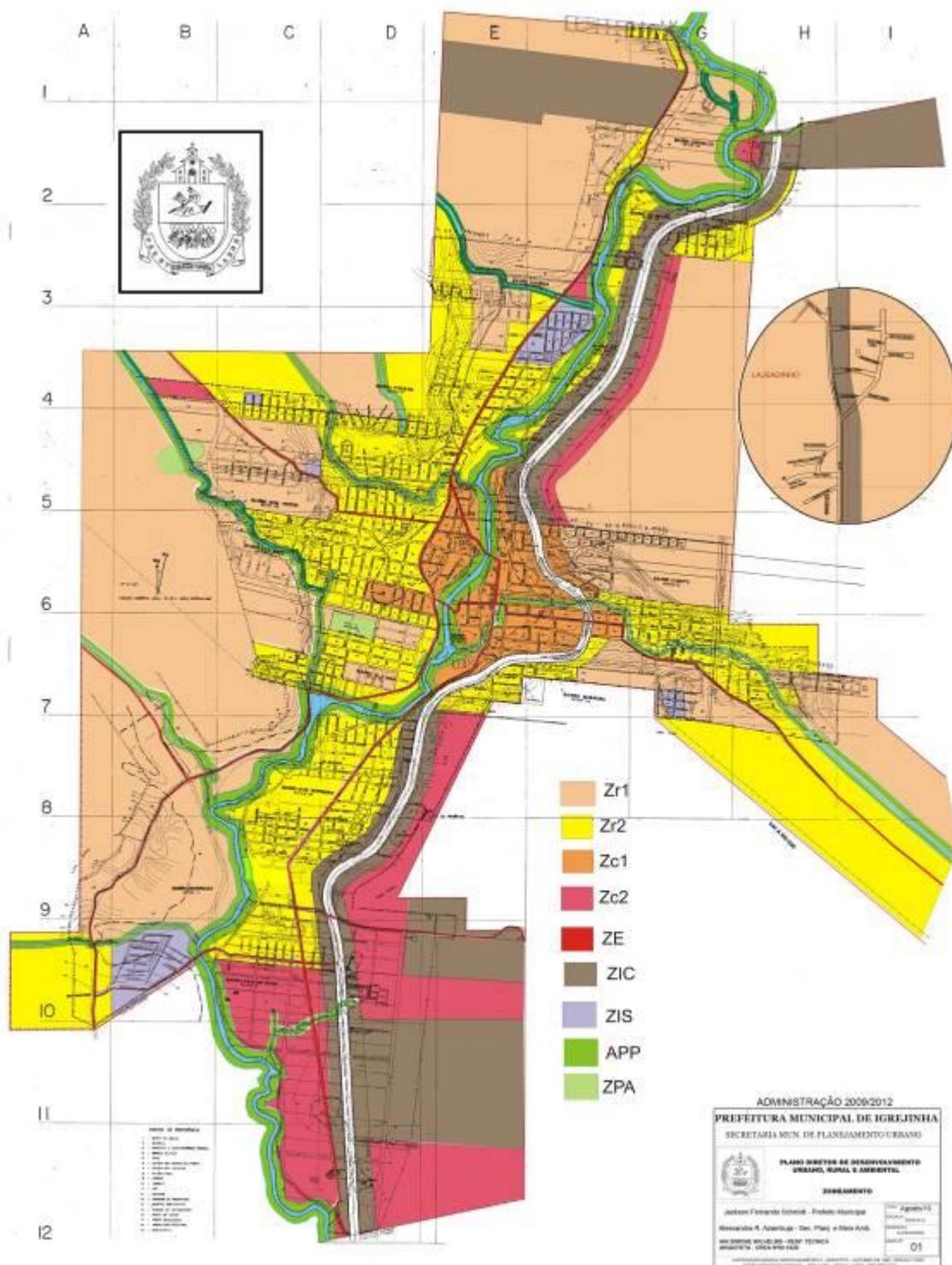
Quadro 9: Zoneamento na área urbana segundo a Lei 3.824/2006.

| Zonas | Atividade | Bairros contemplados |
|---|---|--|
| ZR1 Zona residencial 1 | <ul style="list-style-type: none"> • Residência; • Comércio varejista I (inócuo); • Comércio varejista II (com interferência ambiental 2); • Comércio atacadista II; • Serviços I (inócuo); • Serviço II (com interferência ambiental 1); • Serviço III (com interferência ambiental 2); • Indústrias I; • Indústria II. | Bairro Garibaldi Bairro Figueira Bairro Bom Pastor Bairro Vila Nova Bairro Viaduto Bairro Invernada |

| | | |
|---|---|--|
| ZR2 Zona residencial 2 | <ul style="list-style-type: none"> • Residência; • Comércio varejista I (inócuo); • Comércio varejista II (com interferência ambiental 2); • Comércio atacadista II; • Serviços I (inócuo); • Serviços II (com interferência ambiental 1); • Serviço III; • Indústria I; • Indústria II. | Bairro Rothmann Bairro Moinho Bairro Bom Pastor Bairro Vila Nova Bairro Viaduto Bairro Saibreira Bairro 15 de Novembro Bairro Invernada |
| ZIS Zona residencial de interesse social | <ul style="list-style-type: none"> • Residencial; • Comércio varejista I; • Serviços I. | Bairro Bom Pastor Bairro Viaduto Bairro Invernada |
| ZC1 Zona Comercial 1 | <ul style="list-style-type: none"> • Residência; • Comércio varejista I, II e III; • Serviços I, II e III; • Comércio atacadista III; • Indústria I e II. | Bairro Bom Pastor Centro Bairro Viaduto |
| ZC2 Zona comercial 2 | <ul style="list-style-type: none"> • Residência; • Comércio varejista I, II e III; • Serviços I, II e III; • Comércio atacadista II; • Indústria I e II. | Bairro Rothmann Bairro Moinho Bairro Bom Pastor Bairro da Pedreira Bairro Casa de Pedra Bairro Industrial |
| ZIC Zona comercial industrial | <ul style="list-style-type: none"> • Indústria I, II e III; • Comércio varejista I, II e III; • Comércio atacadista II e III; • Serviços I, II, III e IV. | Bairro Moinho Bairro Rothmann Bairro da Pedreira Bairro 15 de Novembro Bairro Casa de Pedra Bairro Industrial |
| ZE Zona especial | <ul style="list-style-type: none"> • Residência; • Comércio varejista I, II e III; • Serviços I, II e III; • Comércio atacadista II e III; • Indústria I e II. | |

Fonte: LEI 3.824, 2006.

Figura 12: Zoneamento municipal de acordo com a Lei 3.824/2006.



Fonte: IGREJINHA, 2009.

4 METODOLOGIA DE PESQUISA

O trabalho tem como finalidade avaliar a situação das encostas urbanas do município de Igrejinha no que se refere à instabilidade das mesmas, visto que é crescente a ocupação de áreas, principalmente, pela população de baixa renda, onde existe o risco de deslizamento pela declividade, tipo de solo, geologia, condições inadequadas de habitação e saneamento, o que se torna um agravante para os processos de movimentação de massa.

Para a formulação de mapas de suscetibilidade e aptidões a urbanização, é essencial uma coleta de dados abrangentes de todos os condicionantes de eventos a deslizamento de solo. A primeira etapa do trabalho foi a pesquisa de dados de levantamentos geológicos e altimétricos existentes na prefeitura de Igrejinha, bibliografia, informações e também mapas elaborados pela Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais (CPRM).

Com a finalização da etapa de coleta de dados, foi possível realizar o georreferenciamento da área do município de Igrejinha, a partir do qual pode-se identificar e obter uma visualização das áreas mais suscetíveis a deslizamento de solo, através da topografia local, tipo de solo e características geotécnicas. Posteriormente, foram realizadas visitas a área, que foram necessárias à identificação do tipo de solo existente nas zonas de risco, topografia e hidrologia. Buscou-se realizar um diagnóstico da área com pesquisas nas esferas social, econômica e ambiental e, com isso, avaliar o nível de desenvolvimento das pessoas que podem ser atingidas caso ocorra um deslizamento, além do meio físico do local.

O georreferenciamento foi realizado baseado em um aerolevanteamento de 1989, qual apresenta curvas de nível de um metro de distância e escala 1:2000. O procedimento de georreferenciamento foi feito no programa Idrisi, e a vetorização das

curvas de nível no programa Cartalinx. A declividade foi a principal condicionante observada como parâmetro para definir o local como suscetível a deslizamento.

A partir desta base de declividade buscou-se informações relacionadas a ocupação urbana que mostrassem quais são as áreas ocupadas (população e vegetação) em que grau de declividade isto ocorre e que correspondência se tem com a Lei 3824 de 2006, Plano Diretor de Igrejinha.

Realizou-se uma investigação de campo, na qual se procedeu através do caminhamento pela área de estudo, analisando a existência de indícios de deslizamentos, bem como inventário dos eventos já ocorridos e posteriormente seu entendimento, bem como condicionantes de declividade, pluviosidade e a criação de um modelo esquemático que demonstre o tipo de deslizamento ocorrido.

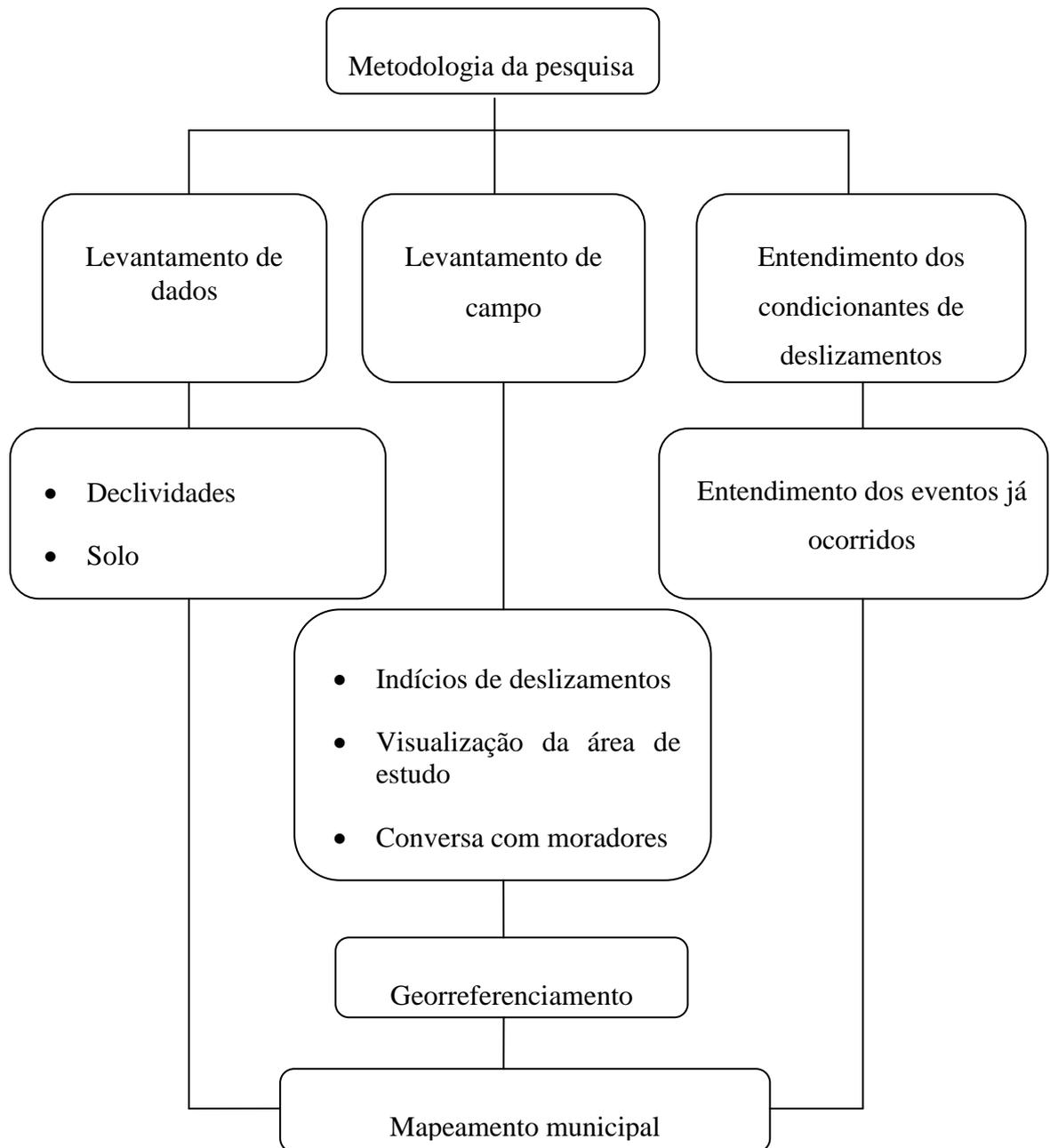
Para se obter uma análise mais detalhada de Igrejinha, separou-se o município em sete zonas. O critério adotado para a escolhas das áreas foram as declividades que estão acima de 15 graus e os pontos onde já existem indícios de deslizamentos ou a sua ocorrência. Neste momento foram observados os graus de declividades presentes, a diretriz do Plano Diretor, a taxa de ocupação e as atividades existentes na área.

Ainda, devido ao fato que Igrejinha apresenta problemas bastante recorrentes de eventos de inundação, fez-se uma análise unindo a modelagem de alagamento realizada por Guasselli e Oliveira (2013) e as áreas com maiores declividades.

E com estes procedimentos listados anteriormente gerou-se mapas de suscetibilidade a deslizamentos e indicação de áreas sem restrições a ocupação que envolvam problemas de deslizamentos e inundação.

Na Figura 13, é apresentado um esquema que sintetiza a metodologia aplicada na pesquisa.

Figura 13: Metodologia de pesquisa.



5 RESULTADOS

De acordo com a metodologia proposta, buscou-se através da ferramenta de geoprocessamento elaborar cartas que reunissem as informações pesquisadas e, dessa forma, pudessem, a partir das imagens, estabelecer uma diretriz para o ordenamento urbano.

Uma das formas para conhecer áreas com suscetibilidade a deslizamentos é através do mapeamento dos locais onde esses eventos ocorreram. Desse modo, os eventos de deslizamentos ocorridos foram catalogados, de modo a procurar adicionar informações que pudessem caracterizá-los.

Adicionalmente, foram feitos os mapeamentos das áreas com problemas de inundação, pois é uma situação que preocupa a população, bem como seus dirigentes, devido ao fato de o município apresentar históricos desse tipo de evento.

5.1 INVESTIGAÇÃO EM CAMPO

Em visita de campo realizada no município de Igrejinha, com o propósito de se obter mais informações a respeito da cidade e de formalizar a realização do trabalho, foram vistoriadas áreas onde já ocorreram eventos de deslizamento e locais em condições vulneráveis a esses eventos. A seguir, são apresentadas as observações levantadas nos 11 pontos vistoriados no município. Na Figura 14, é possível visualizar os pontos vistoriados, bem como o trajeto percorrido na visita técnica realizada no mês de julho do ano de 2012.

Figura 14: Indicação dos pontos vistoriados e o trajeto realizado no município de Igrejinha.



O ponto 001 indica a localização central do município, está situado próximo à Rua Coberta, na Prefeitura do município.

5.1.1 Ponto 002

O ponto 002 está localizado no bairro Solitária, onde a formação geológica é tipicamente basáltica. Nesse ponto, ocorreu um deslizamento em 1992, ocasionando uma morte, sendo que, de acordo com o relato, o evento pode ser equiparado a uma corrida, em razão de o relevo do local apresentar-se em formato de anfiteatro. A visualização do local está representada na Figura 15:

Figura 15: Imagem apresentando a formação basáltica presente no Ponto 002.



5.1.2 Ponto 003

O ponto 003 está inserido no Arroio Solitária, onde ocorre a formação de bancos de cascalho, que propiciam as inundações em decorrências das fortes chuvas, como pode ser verificado pela ilustração disposta na sequência, Figura 16.

Figura 16: Representação da situação de formação de bancos de cascalho no rio localizado no ponto 003.



5.1.3 Ponto 004, Ponto 005 e Ponto 006.

O próximo evento vistoriado no município de Igrejinha foi um alagamento com ocorrência de erosão, indicado pelo ponto 004 e pelas imagens apresentadas a seguir.

É importante ressaltar que o município possui um sistema integrado de aviso com os municípios próximos que sinalizam, quando o Rio Paranhana aumenta seu nível de água, e, conseqüentemente, sua vazão, podendo, assim, a Defesa Civil do município tomar as providências necessárias, como, por exemplo, a remoção de moradores de áreas críticas.

No ponto 005, são apresentados problemas de erosão. No ponto 006, verificou-se a ocorrência de assoreamento ao longo do rio, como ilustra a Figura 17. Foram também mencionados problemas de alagamento nas proximidades.

Figura 17: Apresentação do Rio Paranhana, onde está sendo realizada a recuperação das suas margens, ponto 006.



Os próximos dois pontos vistoriados, ponto 007 e ponto 008, foram cenários de deslizamento com características semelhantes, sendo que apresentam um perfil com uma pequena camada de solo e, logo abaixo, o arenito.

5.1.4 Ponto 007

No ponto 007, o deslizamento ocorreu em 2010, destruindo casas que existiam abaixo da encosta. O resultado só não foi mais grave, porque a escola localizada nas proximidades não estava em funcionamento e a massa de solo não teve força suficiente para alcançar a instituição.

Após o evento, a prefeitura de Igrejinha construiu um muro e um sistema de canalização com o objetivo de diminuir o fluxo. Considerando que a ação tem caráter paliativo, seria adequado haver o monitoramento do restante da encosta, pois as

seguintes apresentam as mesmas características. O município também reconstruiu as moradias danificadas pelo deslizamento.

Ainda, é importante relatar que, atrás dessa encosta, existe um aterro sanitário que, segundo dados medidos, está sofrendo recalques. Considerou-se que o aterro sanitário acima não teve influência direta sobre o evento de deslizamento. Nas imagens que seguem, é possível verificar a cicatriz deixada pelo deslizamento.

Figura 18: Imagem do local no dia do deslizamento que ocorreu em 10/01/10. Ponto 007.



Fonte: AZAMBUJA, 2011.

Acredita-se que o movimento que ocorreu no local foi do tipo translacional. Primeiramente, ocorreu a ruptura na metade superior da encosta, ocasionando um movimento mergulhante da camada de solo sobre o arenito, e que, devido a essa massa instabilizada acima, mobilizou o colúvio da parte inferior, fazendo com que o total de solo alcançasse as residências que situavam-se logo abaixo da área. A estimativa de velocidade desse deslizamento é de 50 km/h a 60 km/h, baseando-se nos relatos, características de movimento e material envolvido no evento.

Figura 19: Imagem do local após o deslizamento, ponto 007.



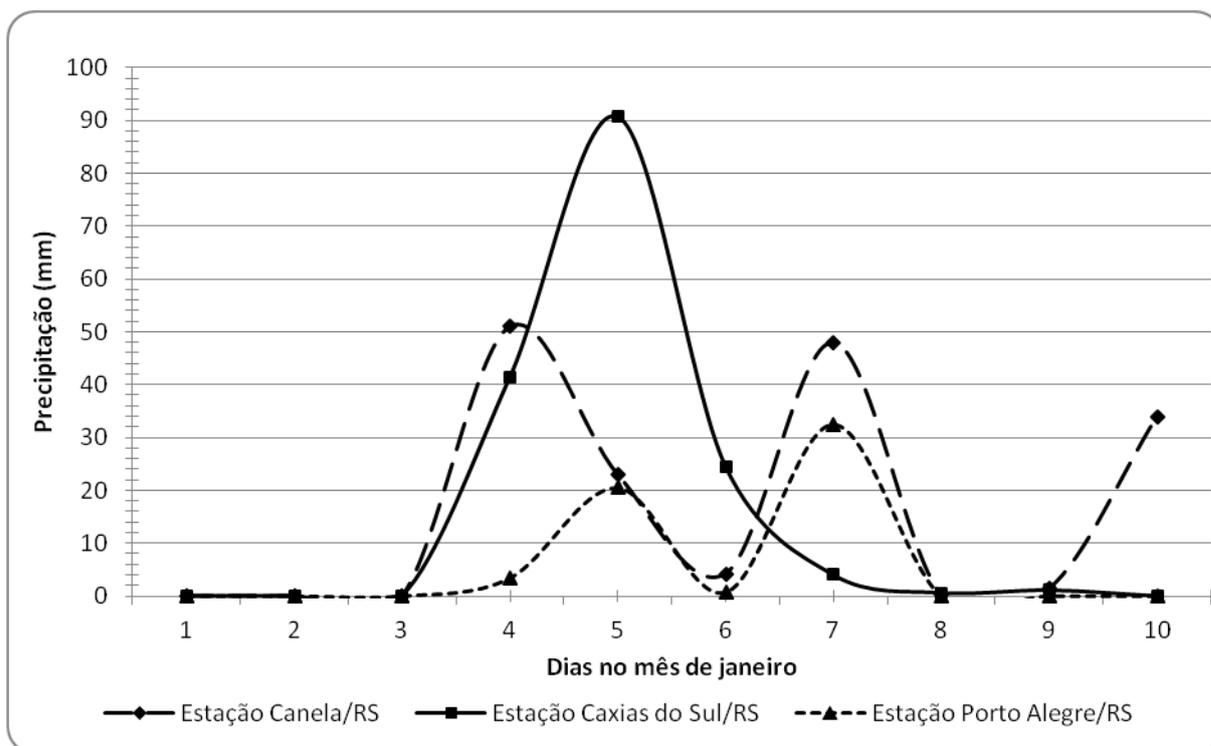
Fonte: AZAMBUJA, 2011.

Figura 20: Imagem atual da área, onde ocorreu o evento de deslizamento no ano de 2010, ponto 007 (posição atrás da escola Garibaldi).



De acordo com os dados fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), constantes no Anexo 3, nos dias que antecederam o evento, de 1º a 10 de janeiro, a quantidade de precipitação não foi significativa, mas segundo registros da defesa civil no dia 10/01/2010, data do deslizamento, houve um volume de chuva significativo de 200 mm, medidos em Três Coroas/RS (AZAMBUJA, 2011).

Figura 21: Precipitações que ocorreram no mês de Janeiro de 2010.



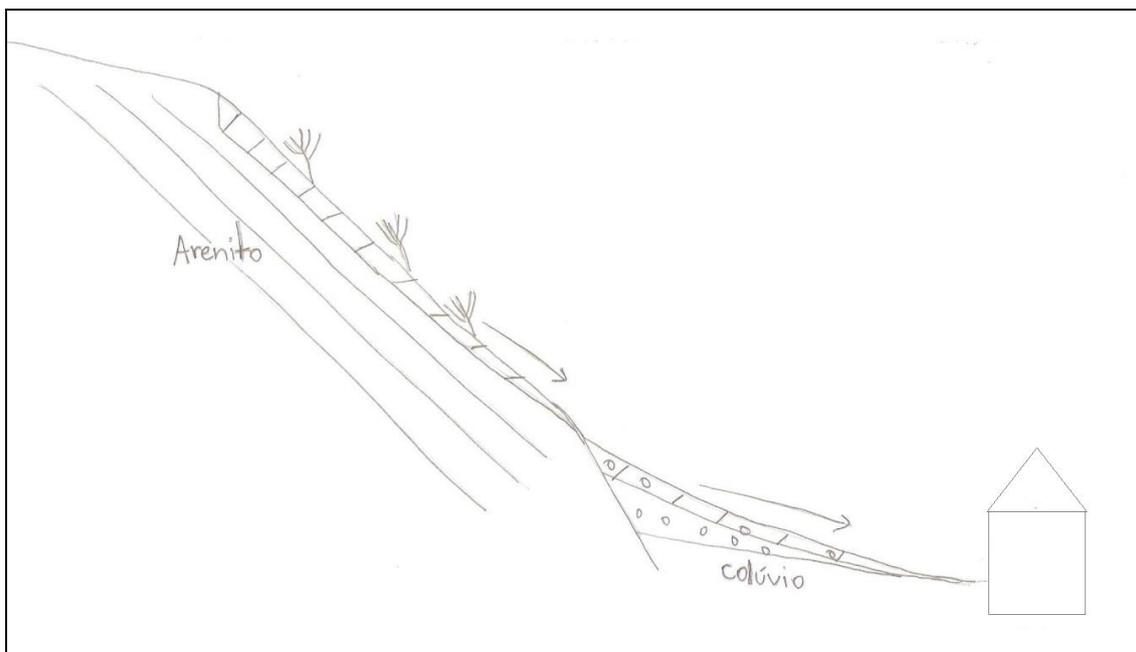
Fonte: (INMET, 2013).

É importante salientar que o município de Igrejinha não possui sistema de medição pluviométrica e que a estação meteorológica mais próxima está localizada no município de Canela, distante 40 km. Na Figura 22, é ilustrado um esquema do movimento ocorrido.

É importante observar que, nesse evento em particular, a quantidade de chuva acumulada até a data do deslizamento (10 dias) estava muito próximo da média mensal para Igrejinha, que é de 166 mm, o que indica que os solos já estavam com grau de saturação bastante elevado. Por outro lado, a chuva de 200 mm/24h que foi medida no

município vizinho de Três Coroas naquele dia, conforme Azambuja (2011) é muito alta e deve ter sido o grande condicionante da ruptura.

Figura 22: Representação esquemática do evento de deslizamento ocorrido no local.



5.1.5 Ponto 008

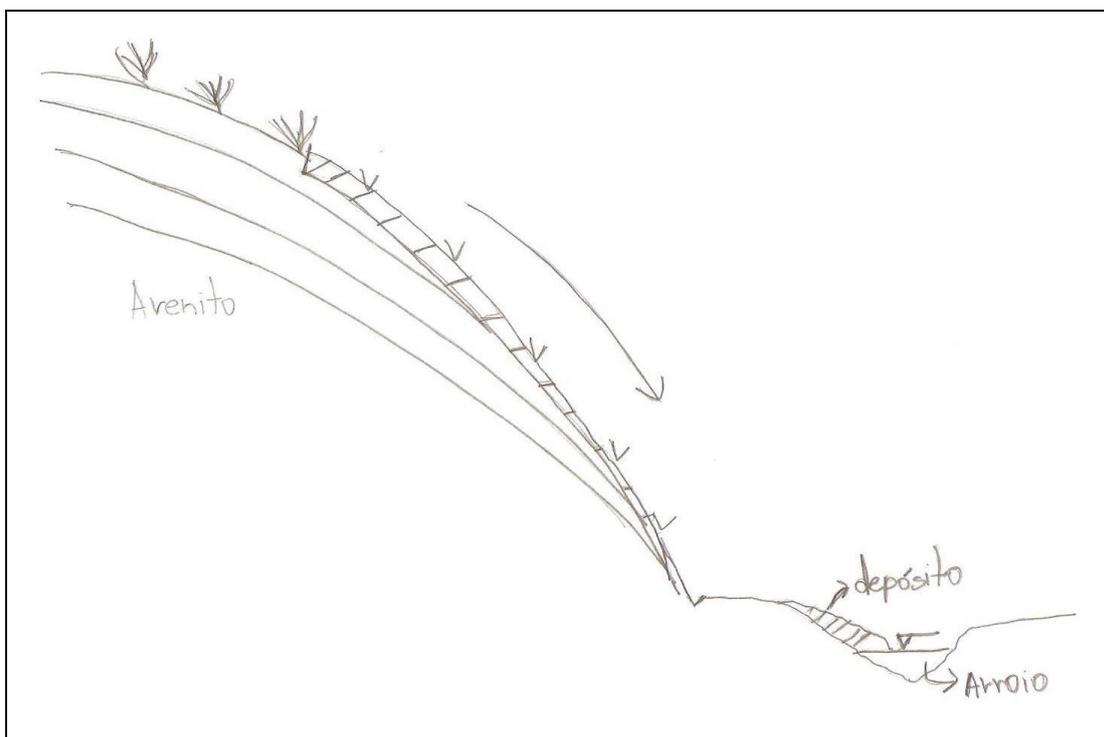
O ponto 008 apresenta o deslizamento que ocorreu em 10 de janeiro de 2010, o qual gerou grande prejuízo à fábrica da Schincariol a qual encontra-se nas proximidades da área. Houveram dois deslizamentos muito próximos, sendo que o material da ruptura barrou as águas do Arroio Kampff, situado junto ao pé da encosta, o qual já estava com a vazão acima da normalidade e, a partir disso, inundou a indústria mencionada. No local, também foi possível verificar a existência de fraturas de alívio de tensão.

A partir das características locais, ficou claro que ocorreu um movimento de deslizamento translacional na área, em consequência da saturação do solo, que fez com que a camada superficial escorregasse.

Figura 23: Evento de deslizamento ocorrido no ponto 008.



Figura 24: Modelo esquemático do evento ocorrido no local.



5.1.6 Ponto 009

O ponto 009, também foi palco de deslizamentos, como pode ser observado pela Figura 25, a seguir. O local apresenta características residenciais, fato que gera maior preocupação.

Figura 25: Deslizamento ocorrido no Bairro Figueira (ponto 009).



5.1.7 Ponto 010

Nos dois últimos locais vistoriados foram registrados os eventos de maior magnitude, que destruíram residências e causaram o falecimento de várias vítimas. O deslizamento ocorreu com forte chuva e pouco antes de amanhecer do dia. Os dados pluviométricos dos dias que antecederam o evento podem ser verificados através do Anexo 4.

Figura 26: Imagem da área, ponto 010, no dia do deslizamento, 23/04/2011.

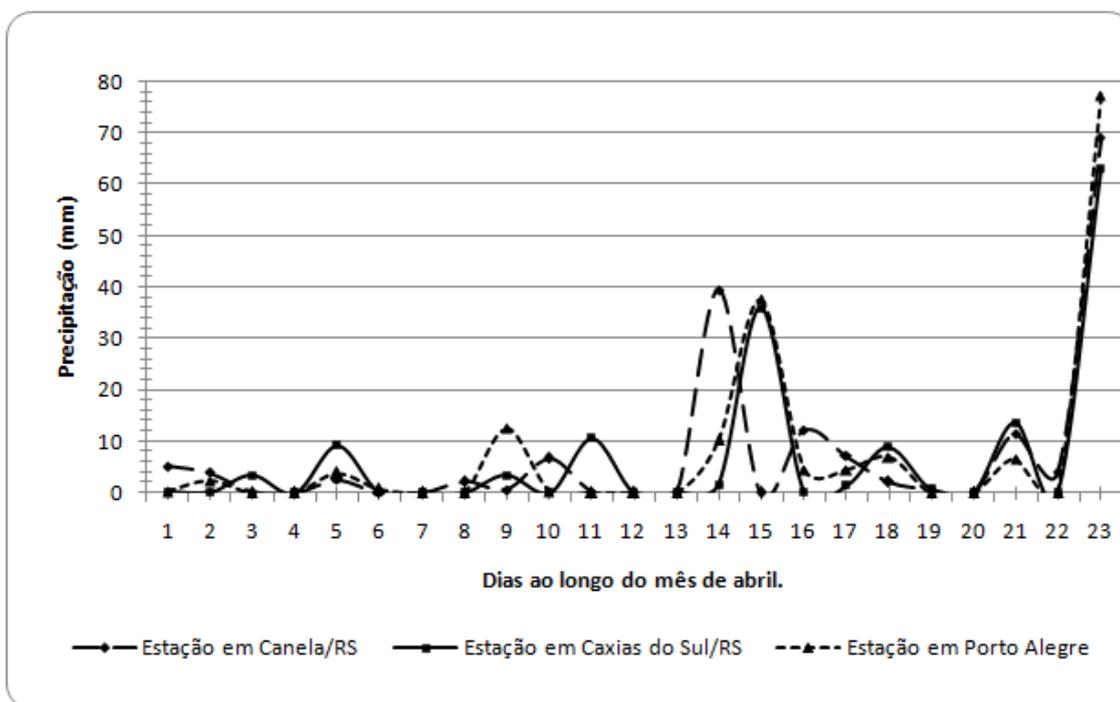


Fonte: (RIFFEL, 2012).

Os dados pluviométricos indicam que as chuvas registradas no entorno do município (Porto Alegre, Caxias do Sul e Canela) não indicavam níveis preocupantes, até o próprio dia 23 de abril, quando o valor de precipitação alcançou níveis de 63 mm/24h a 77 mm/24h naquelas localidades. Mas, é importante ressaltar que, segundo medições de estação da cidade de Três Coroas/RS, a precipitação no dia do evento foi

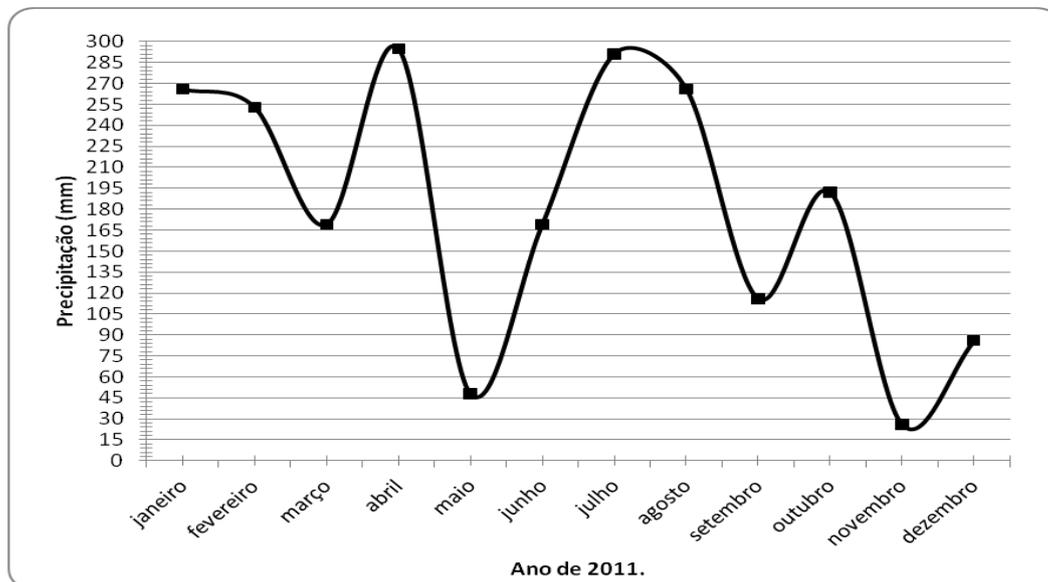
de 120 mm em 12 horas (AZAMBUJA, 2013). A Figura 27 mostra os valores de chuvas diárias medidas ao longo de abril de 2011 (INMET, 2013) nas três localidades (Porto Alegre, Caxias do Sul e Canela), e na Figura 28 estão apresentadas as curvas de chuvas mensais no ano de 2011 (AZAMBUJA, 2011).

Figura 27: Precipitações que ocorreram no mês de Abril de 2011.



A partir destas duas figuras pode-se perceber que Abril foi um mês bastante chuvoso, comparável aos meses de julho e agosto, com acumulados de 270 mm/mês a 295 mm/mês, sendo que no dia da ruptura houve um evento de grande intensidade. Por estas razões, pode-se concluir que a chuva do dia 23 de abril (120 mm/12h) foi a grande responsável pelo deslizamento que vitimou os seis moradores.

Figura 28: Precipitação ao longo do ano de 2011.



Fonte: AZAMBUJA, 2011.

Como se pode verificar na local do evento está quase totalmente coberto pela vegetação. O relato apresentado por um morador que visualizou o deslizamento foi bastante significativo. Infelizmente, a pessoa não conseguiu definir a velocidade da movimentação do solo para que fosse possível uma classificação do deslizamento, citando apenas que “foi rápido”. No local, ainda encontram-se algumas residências que resistiram ao evento.

A ilustração seguinte é uma demonstração esquemática do que se acredita ter ocorrido no local no momento do deslizamento, a partir do relato da testemunha e dos indícios do local. O primeiro movimento a ocorrer teria sido rotacional, na metade superior da encosta, o que pode ser inferido pelo fato de algumas árvores ainda estarem inclinadas para trás. O material rompido deslizou então, com velocidade, atingindo e destruindo as residências que estavam construídas na parte inferior da encosta.

Figura 29: Esquema do movimento que ocorreu no local.

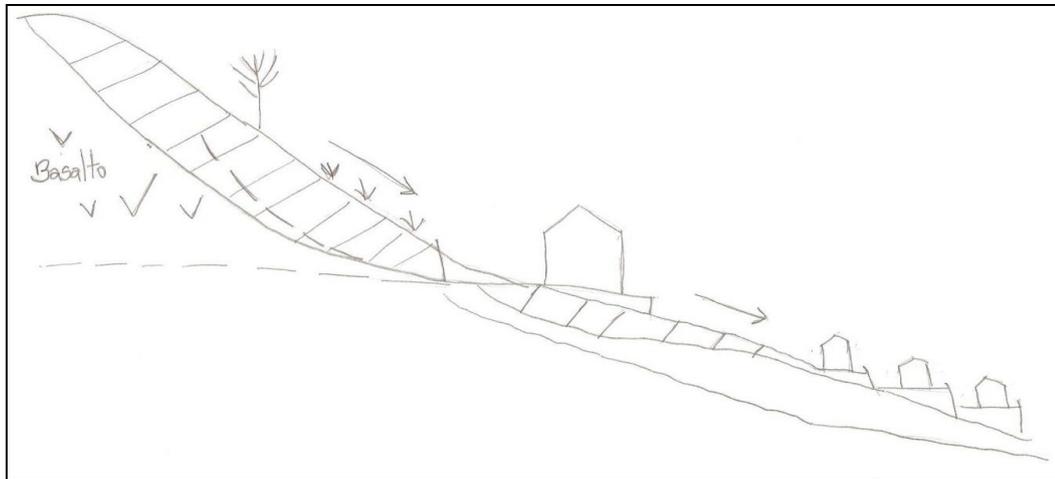
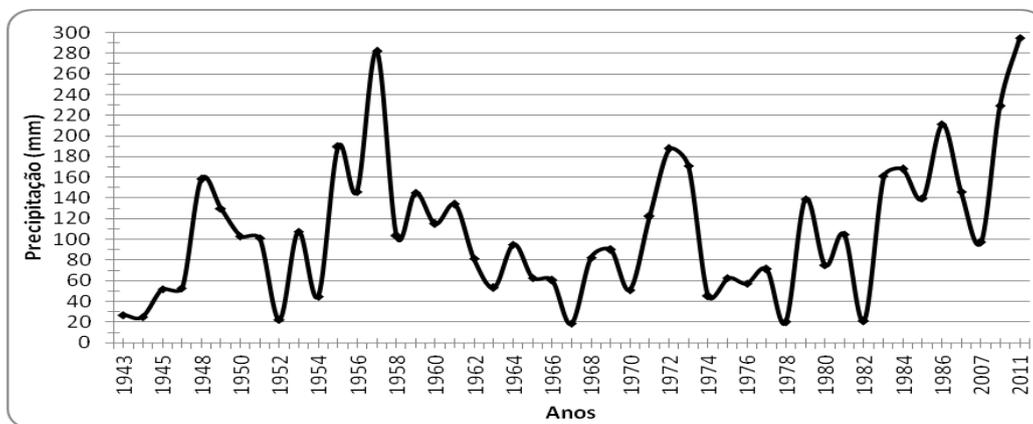


Figura 30: Deslizamento ocorrido no Bairro Saibreira (ponto 010).



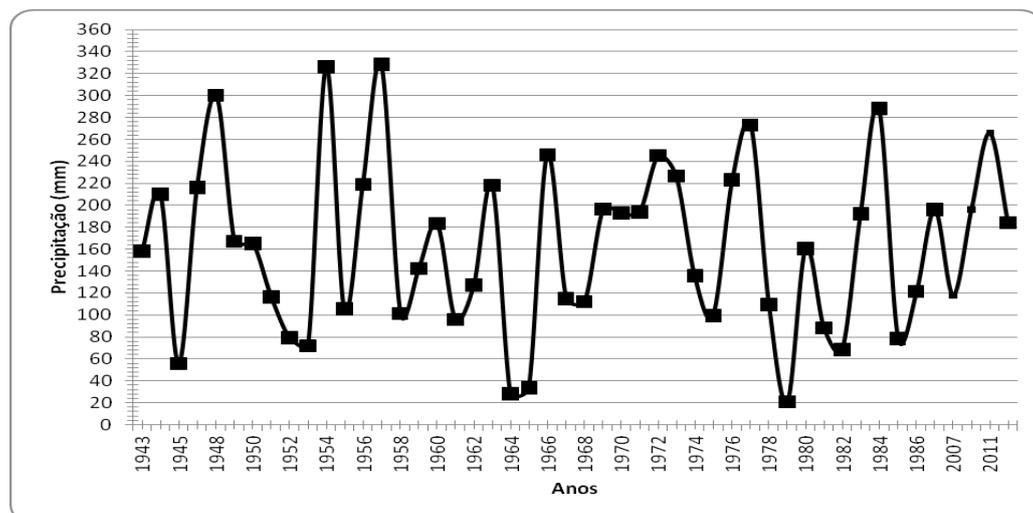
As imagens abaixo mostram as chuvas acumuladas que ocorreram ao longo dos anos nos meses de abril e janeiro. É possível observar o período de abril não apresenta característica de pluviosidade intensa, não podendo ser considerado um fator relevante para os deslizamentos de solo para Igrejinha, tendo uma variabilidade elevada ao longo dos anos. Nota-se que a precipitação que ocorre nos meses de janeiro é mais regular na amplitude entre 100 mm a 240 mm. Tendo picos elevados, mas ocorrendo com menor frequência, apresentando uma menor variação na intensidade de chuva.

Figura 31: Precipitação no mês de Abril ao longo dos anos.



Fonte: AZAMBUJA, 2011.

Figura 32: Precipitação no mês de Janeiro ao longo dos anos.



Fonte: AZAMBUJA, 2011.

Por fim, a partir do relato de uma testemunha, foi visitado um local em que em 1987 ocorreu um deslizamento rápido com destruição de uma residência durante um período de chuvas muito intenso. Segundo a testemunha, naqueles dias ocorreram diversos deslizamentos naquele segmento de estrada (Voluntariado, Serra Grande). Baseado neste relato simplificado (não há registros escritos ou mesmo precisão de datas) e pelas evidências do local, deve ter havido uma queda de blocos da escarpa rochosa sobre um depósito coluvionar, o qual se movimentou velozmente em direção à residência. Não há relatos de outros movimentos, mas a geomorfologia da área é muito indutora de tais movimentos (ver Figura 33).

Figura 33: Região do movimento no ano de 1987.



Fonte: Google Maps, 2012.

Com base nestas observações sobre os deslizamentos, pode-se dizer que os principais acidentes estão relacionados diretamente à intensidade da precipitação no dia em que eles ocorreram. Tal fato é constatado nos acidentes dos anos de 2010 e 2011.

É importante ressaltar que a precipitação interfere nas condições de estabilidade de encostas, no entanto, não é o único fator causador. Dessa forma, torna-se importante conhecer além da geologia (perfis de alteração, deposições, níveis de água), as declividades dos terrenos e, em especial, as intervenções antrópicas e sua influência na estabilidade dos taludes.

5.2 GEORREFERENCIAMENTO

A partir dos mapas digitalizados de Igrejinha, datados de 1989, buscou-se realizar o georreferenciamento da área de estudo. As atividades foram realizadas no laboratório LabGeo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Campus Vale, que é o centro de estudos no uso do programa Idrisi.

O georreferenciamento, a partir das cartas digitalizadas, se mostrou um tanto complexo, já que as mesmas não possuíam uma boa resolução e foram digitalizadas em apenas duas cores, preto e branco, o que dificultou as etapas posteriores do processo.

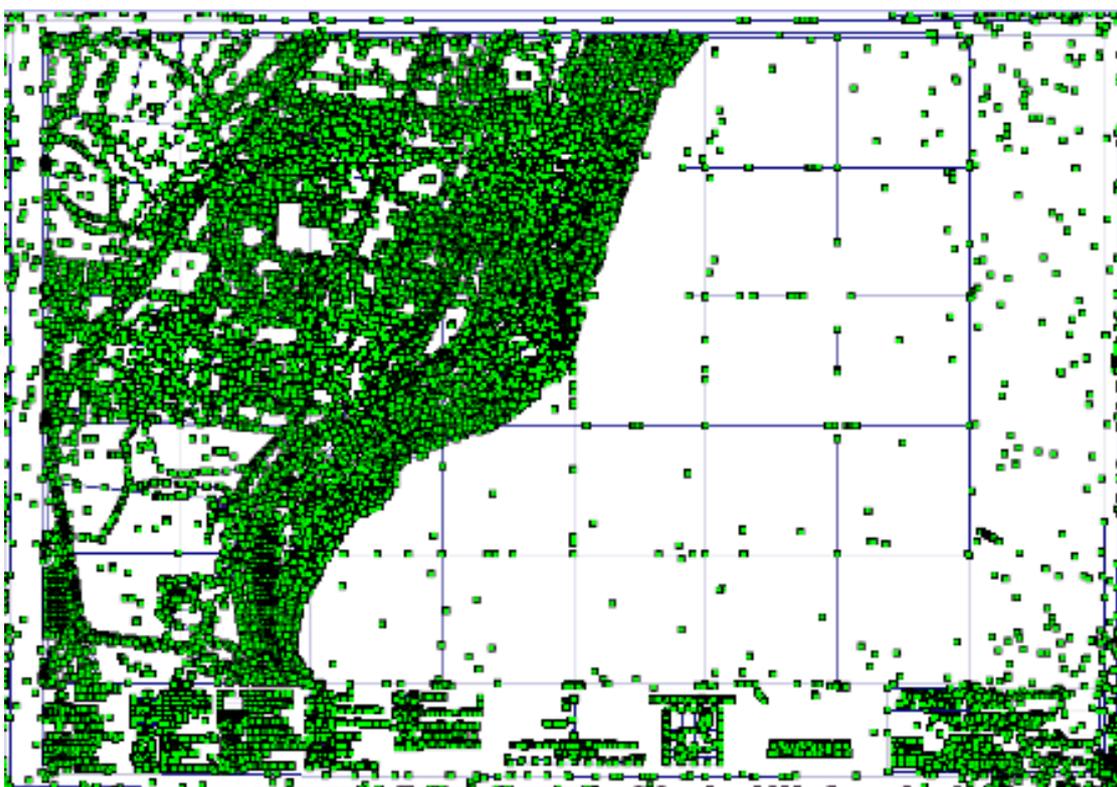
As cartas estão apresentadas em escala 1:2.000 e com curvas de nível de 1 metro de distância. Possuem uma quadricularização de 200 m x 200 m, que serviu de apoio para o georreferenciamento. Para poder realizar o trabalho de georreferenciamento, a área total de Igrejinha foi dividida em 18 mapas digitalizados que formam o mosaico final do município.

A primeira etapa do processo de georreferenciamento foi a importação das imagens digitalizadas. Para isso, foi estabelecido um sistema de coordenadas próprio para as cartas de Igrejinha, que, posteriormente, foi convertido a um sistema de

coordenadas conhecidos. Esse primeiro processo foi realizado no Programa Idrisi, sendo que o georreferenciamento procedeu-se através de vetores.

A partir da conclusão do gerreferenciamento, iniciou-se a etapa de eliminação de “nós” da planta, pontos verdes apresentados na Figura 34, já que a mesma foi importada e cada segmento da reta foi ligada a vários deles. Esse processo exigiu muito tempo de execução, fato que o tornou inviável, visto que a planta apresentava infinita quantidade de nós, o que tornou o processo de eliminação de “nós” extremamente exaustivo e demorado, sendo necessária, então, a mudança no formato de georreferenciamento da área.

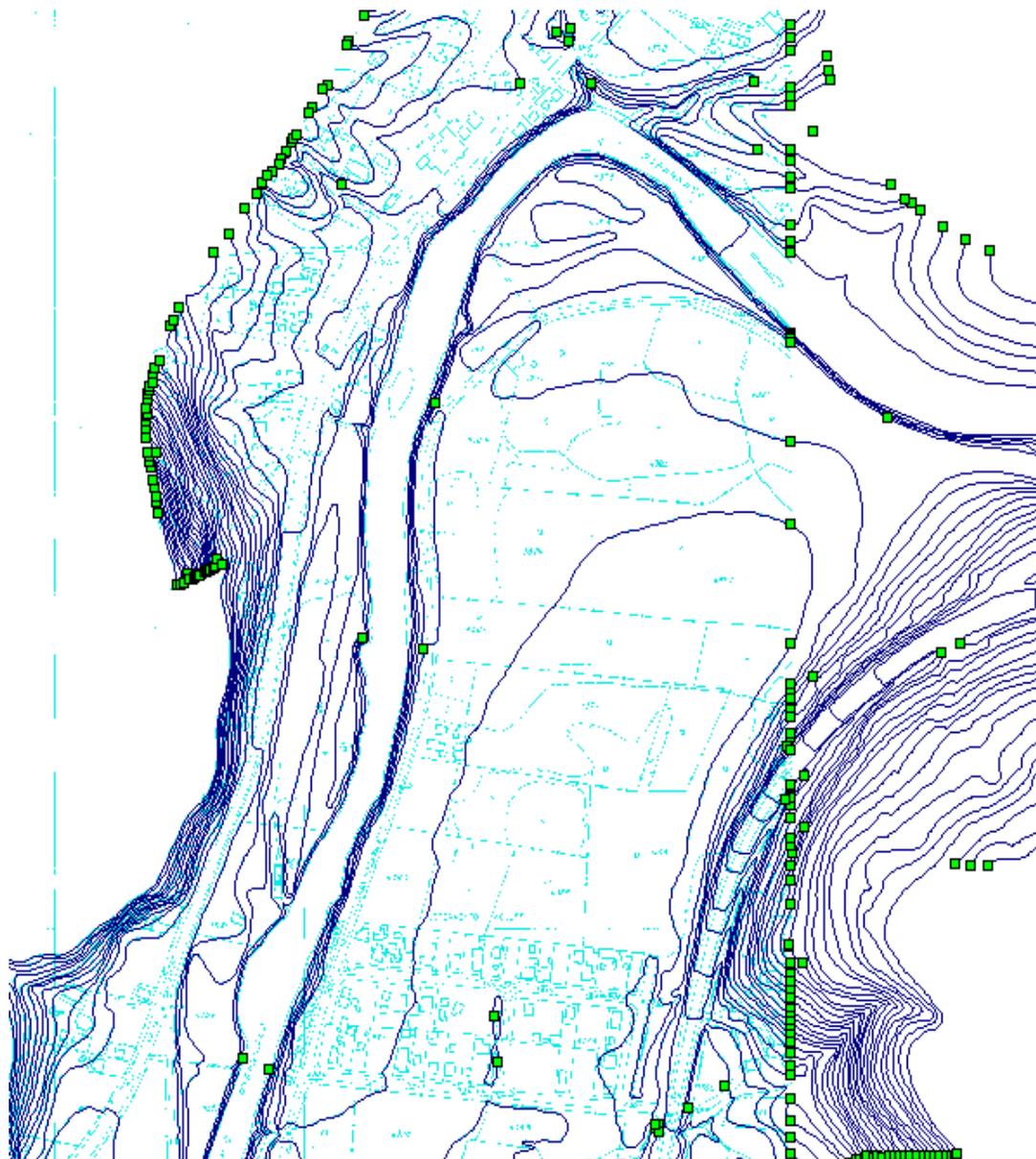
Figura 34: Tela do programa Idrisi mostrando uma das 18 partes de Igrejinha.



A segunda tentativa de georreferenciar a área foi feita a partir da imagem digitalizada, em arquivo raster. A qual se buscou equivalência no georreferenciamento feito através de vetores. Com esse procedimento, obteve-se uma imagem georreferenciada que serviu de base de fundo para o re-delineamento das curvas de

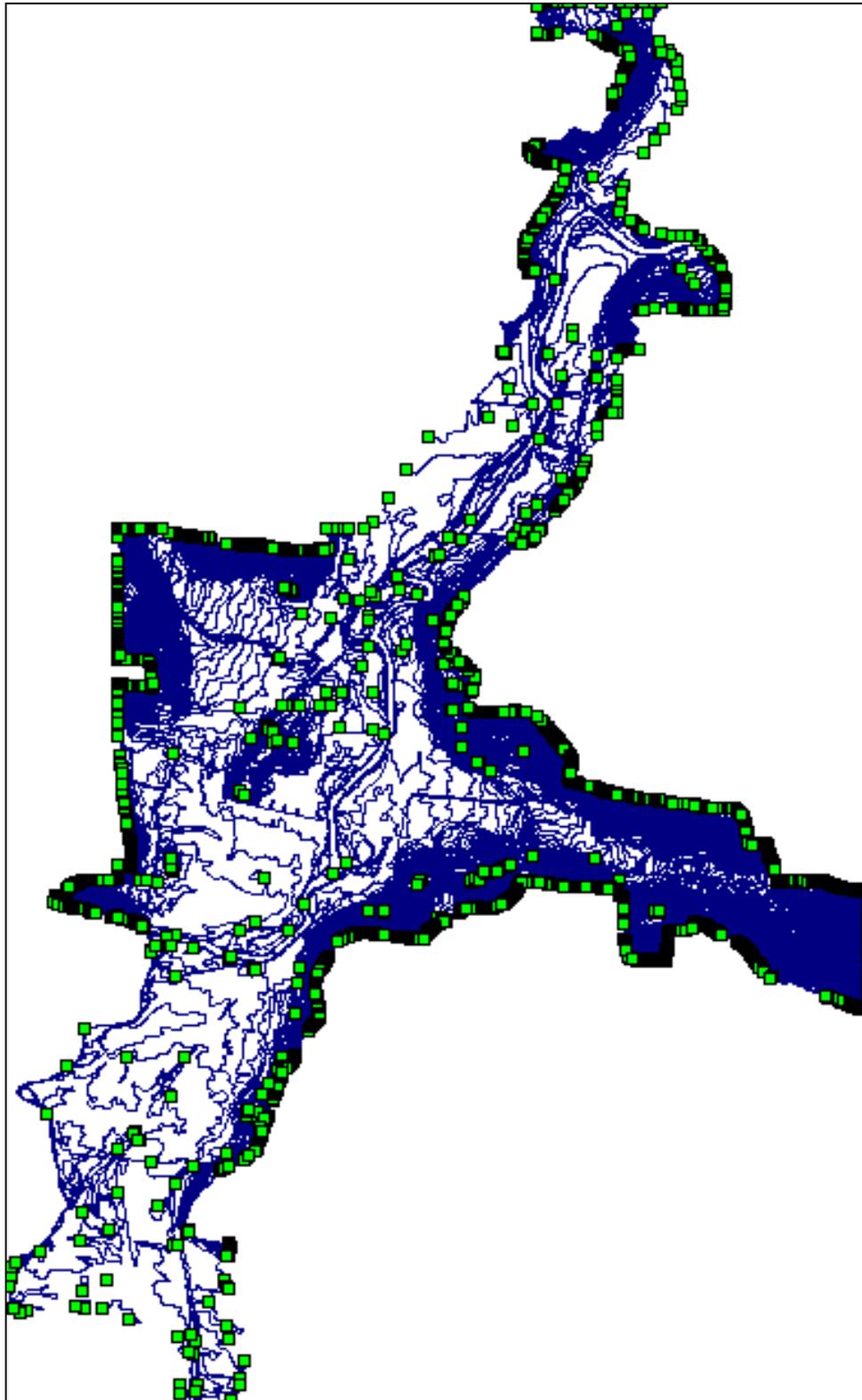
nível, Figura 35, que possibilitou que o arquivo fosse lido e utilizado para qualquer fim de georreferenciamento.

Figura 35: Imagem visualizada no programa Cartalinx para o desenho das curvas de nível, mostrando um dos 18 mapas de Igrejinha.



A etapa de re-delineamento das curvas de nível, isto é, o desenho das curvas de nível, foi realizado no Programa Cartalinx. A escolha desses dois programas foi tomada pelo fato de os mesmos serem de fácil execução e apresentarem as mesmas ferramentas que os outros disponíveis no mercado.

Figura 36: Imagem após a finalização do desenho das curvas de nível no programa Cartalinx.



Após a conclusão do desenho das curvas de nível, a próxima etapa procedeu com a atribuição de cotas para as curvas e, posteriormente, à sobreposição da imagem georreferenciada sobre a imagem atual do município, buscando-se, assim, a equivalência das áreas e a representação da indicação para que direção o município esteja se desenvolvendo, podendo, dessa forma, tomar providências para o futuro zoneamento.

Com o georreferenciamento foi possível a construção de um arquivo gráfico, que serviu de suporte para a confecção de mapas temáticos, os quais propiciaram análises mais concretas de várias situações apresentadas no município com relação ao uso do solo. E, por fim, uma análise integrada de todas as variáveis que interferem na condição de estabilidade de taludes no meio urbano.

5.3 MAPAS

O georreferenciamento proporcionou a construção de vários mapas temáticos e, conseqüentemente, permitiu que fossem avaliados vários parâmetros que, com a referida ferramenta, agora, apresentam uma dimensão espacial sobre uma imagem do município de Igrejinha.

5.3.1 Movimentos de massa

O principal problema dos eventos de movimentos de massa refere-se aos danos que os mesmos causam. Esses prejuízos são relativos às coisas materiais, como, por exemplo, bens, comércios, indústrias, residências e também aos danos relacionados diretamente à vida das pessoas, que infelizmente, em algumas situações, morrem vítimas dos deslizamentos. Nesse sentido, a análise de suscetibilidade, bem como de perigo e risco tentam avaliar, através da mensuração, o dano causado pelos

deslizamentos. Pensando nesse contexto, é que se buscou entender como está ocorrendo o processo de urbanização no município de Igrejinha.

A partir do georreferenciamento, foi possível classificar a área em quatro diferentes formas de ocupação no limite de seu perímetro urbano. Sendo elas:

- a) área urbanizada;
- b) vegetação em área urbanizada;
- c) vegetação fora da área urbanizada;
- d) vegetação ao longo do Rio Paranhana.

A Figura 37 apresenta a classificação mencionada, sendo importante ressaltar que a área urbana atual apresenta um perímetro em alguns pontos mais extensos, visto que as curvas de níveis, base para as informações processadas, foram derivadas de um aerolevante datado de 1989.

Com o mapa temático abaixo, pode-se observar que a região mais plana do Vale do Paranhana, pertencente ao município de Igrejinha, está, quase que em toda sua totalidade, urbanizada. Existem poucas manchas de áreas com vegetação, situação que é mais frequente nas declividades maiores, nos contornos da área urbana.

Analisando a Figura 38, torna-se fácil perceber o motivo pelo qual existem problemas com alagamentos no município. O Rio Paranhana corta a cidade de Norte a Sul, fato agravado pelo formato do relevo que é um vale, como se pode observar na Figura 37, aumentando ainda mais o escoamento superficial na Região.

Figura 37: Imagem da área urbana que apresenta a classificação assumida.

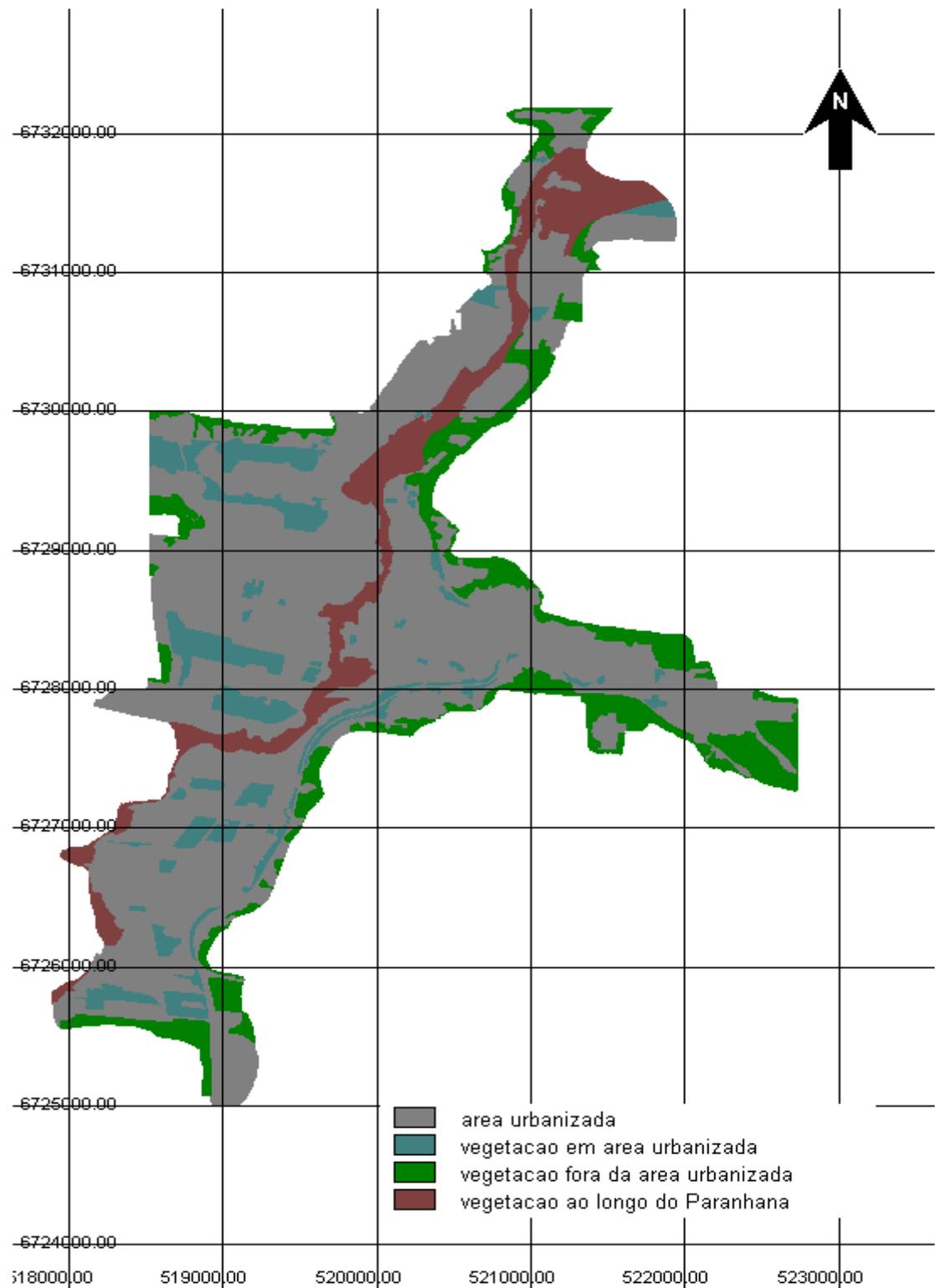


Figura 38: Vale do Paranhana, onde localiza-se a cidade de Igrejinha.



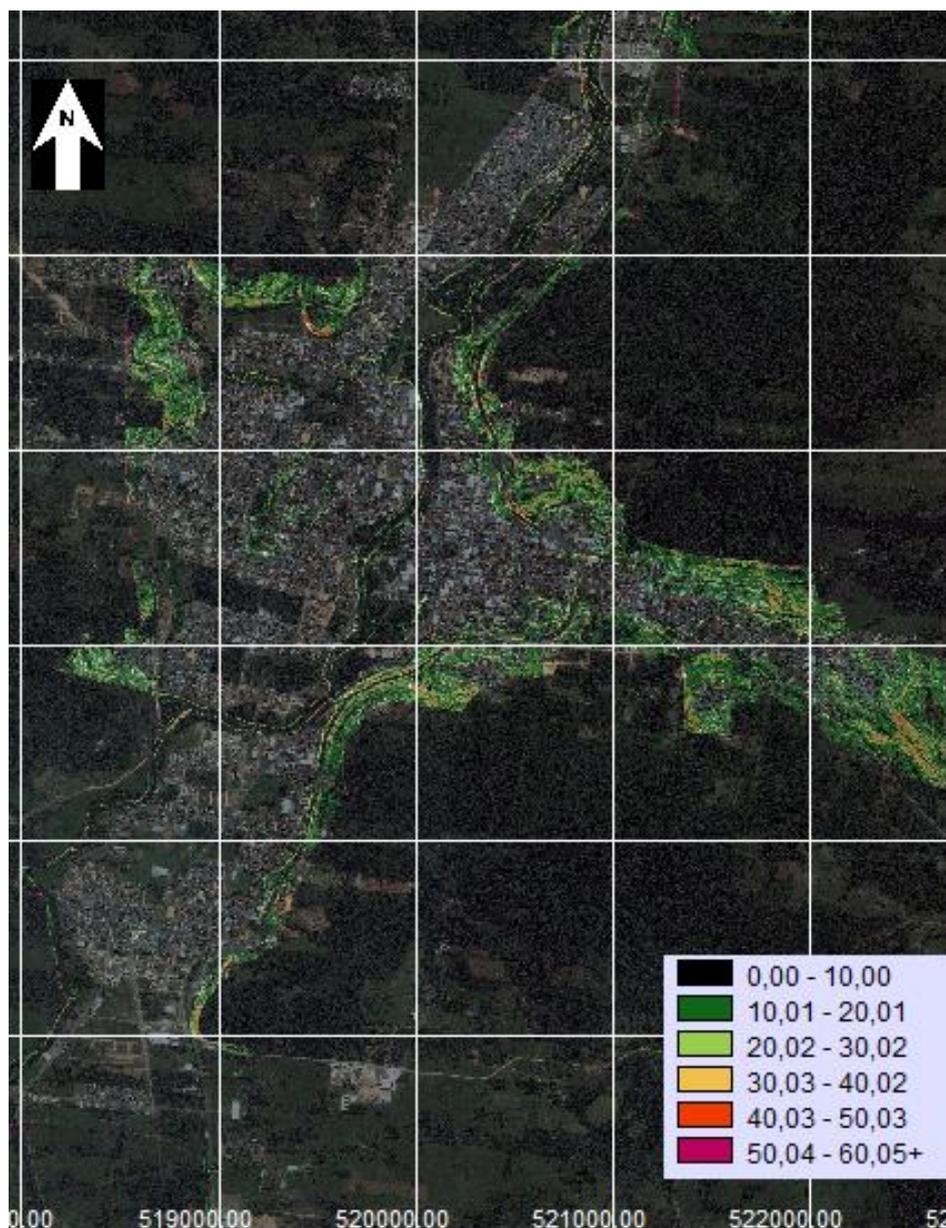
Ainda, com o aerolevanteamento de 1989 e sobrepondo a imagem do satélite Quickbird, obtida em 2009, da área do município, foi possível verificar a abrangência do estudo e avaliar quais os vetores de crescimento da mancha urbana.

O que pode ser constatado que o aerolevanteamento de 1989 contempla quase que totalmente a área urbana atual. Pode-se também observar que a urbanização deu-se, em sua maior parte, na direção oeste e, como foi possível constatar, ocorreu nos locais que apresentam maiores declividades. Também houve expansão da urbanização na porção mais ao Sul de Igrejinha, a qual não apresenta problemas relacionados a declividades altas.

Como já mencionado, a declividade é um fator primordial na análise de suscetibilidade a deslizamentos, principalmente, quando se está na fase de estudos preliminares, visto que tal característica é um condicionante a deslizamentos. Devido a essa importante influência, uma das primeiras análises a serem realizadas foram a identificação das áreas do município que eram constituídas de declividades iguais ou

superiores a 30% de inclinação, sendo esse o parâmetro para a permissão de parcelamento do solo urbano, segundo a Lei Federal 6.766, de 19 de dezembro de 1979. Tal fato pode ser observado na Figura 39:

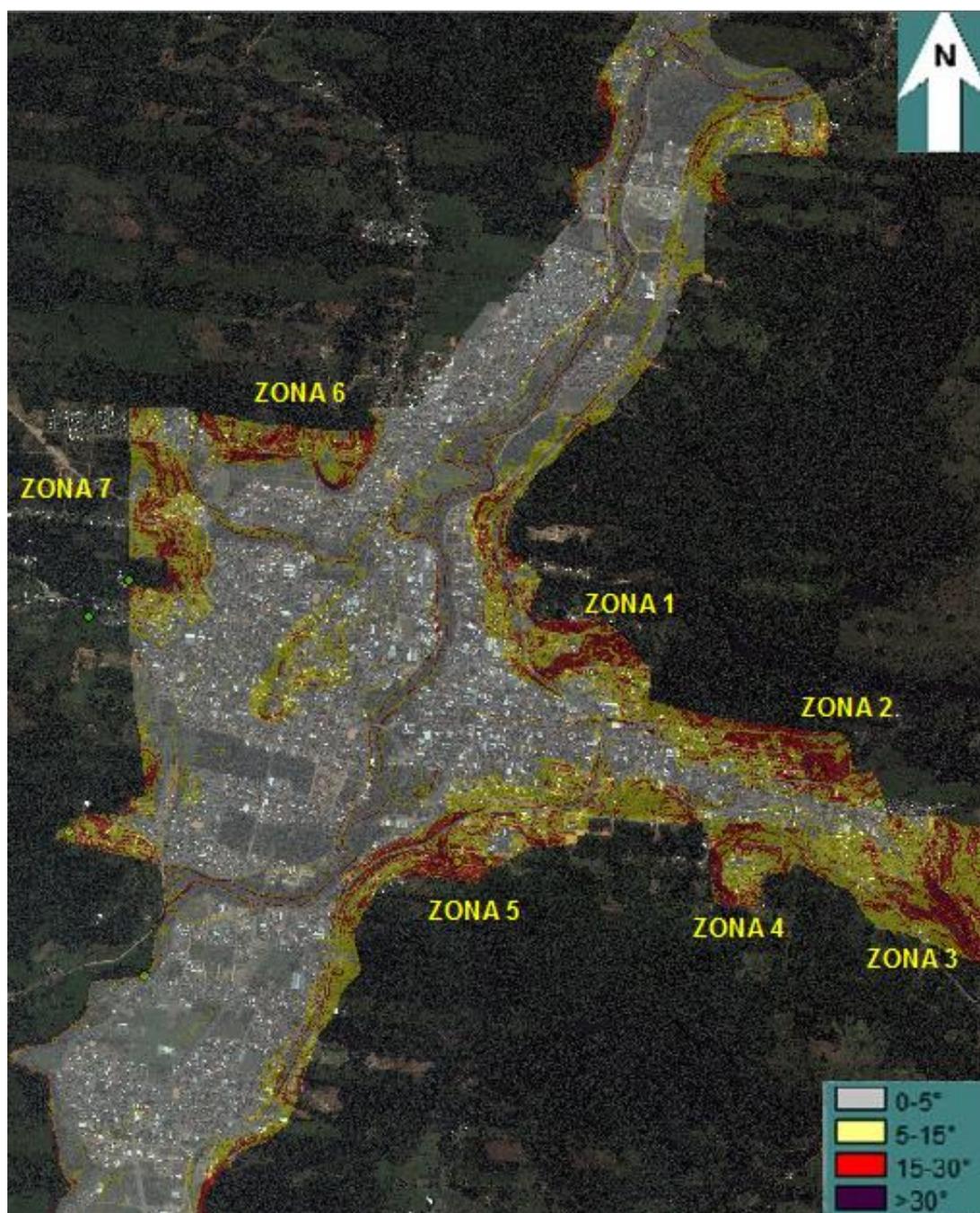
Figura 39: Declividades presentes no perímetro de Igrejinha.



Analisando a imagem referida anteriormente, pode-se inferir que a região do município que apresenta a maior concentração de áreas com declividade acima de 30% de inclinação encontra-se na porção Leste do mapa. São locais em que não há densa

ocupação humana e, quando a mesma ocorre, é feita através de residências e de comércio para o desenvolvimento local (mercados e fruteiras).

Figura 40: Escalas de declividades, salientado as declividades acima de 15°.



Na porção Oeste do município, percebe-se a existência de áreas escassas com declividades superiores a 30% de inclinação, fato que vem a favor da segurança, pois essa região é uma das áreas onde a expansão urbana aconteceu com maior nitidez.

De acordo com a imagem da Figura 40, percebe-se que as declividades acima de 15° estão, principalmente, presentes nos bairros, em que a principal ocupação é a residencial. No local, ainda, verificou-se a presença de comércios locais para facilitar o cotidiano das pessoas, principalmente, no ramo alimentício. Foi observada a presença de duas escolas e de um centro comunitário nas zonas que apresentam declividades elevadas. As três construções encontram-se no Bairro Viaduto.

Optou-se por essa classificação de níveis de declividades, pois ela é capaz de fornecer estimativas das características do movimento que poderá ocorrer naquela área, fato que pode ser constatado na porção Oeste do município, onde existe a predominância de intervalos de inclinações de 5° a 30°, sendo que nessas declividades, segundo Bressani (2008) existe a predominância de movimentos do tipo rastejos, deslizamentos rotacionais lentos e rápidos.

Tal conclusão foi comprovada, através de vistoria técnica, a qual destacou a presença de movimentos do tipo rastejo no Bairro Viaduto, Figura 41, e, como também pode ser verificado nos pontos sinalizados no Quadro 10, abaixo, e nas características desses locais apresentadas na tabela a seguir.

Figura 41: Movimento de rastejo no Bairro Viaduto.



Segundo Leroueil *et al.* (1996) *apud* Cascini (2005) fenômeno de rastejo, ou outros podem diminuir progressivamente as propriedades mecânicas do solo, e induzir a primeira ruptura, onde grandes deslocamentos são alcançados.

Quadro 10: Características dos pontos que foram vistoriados.

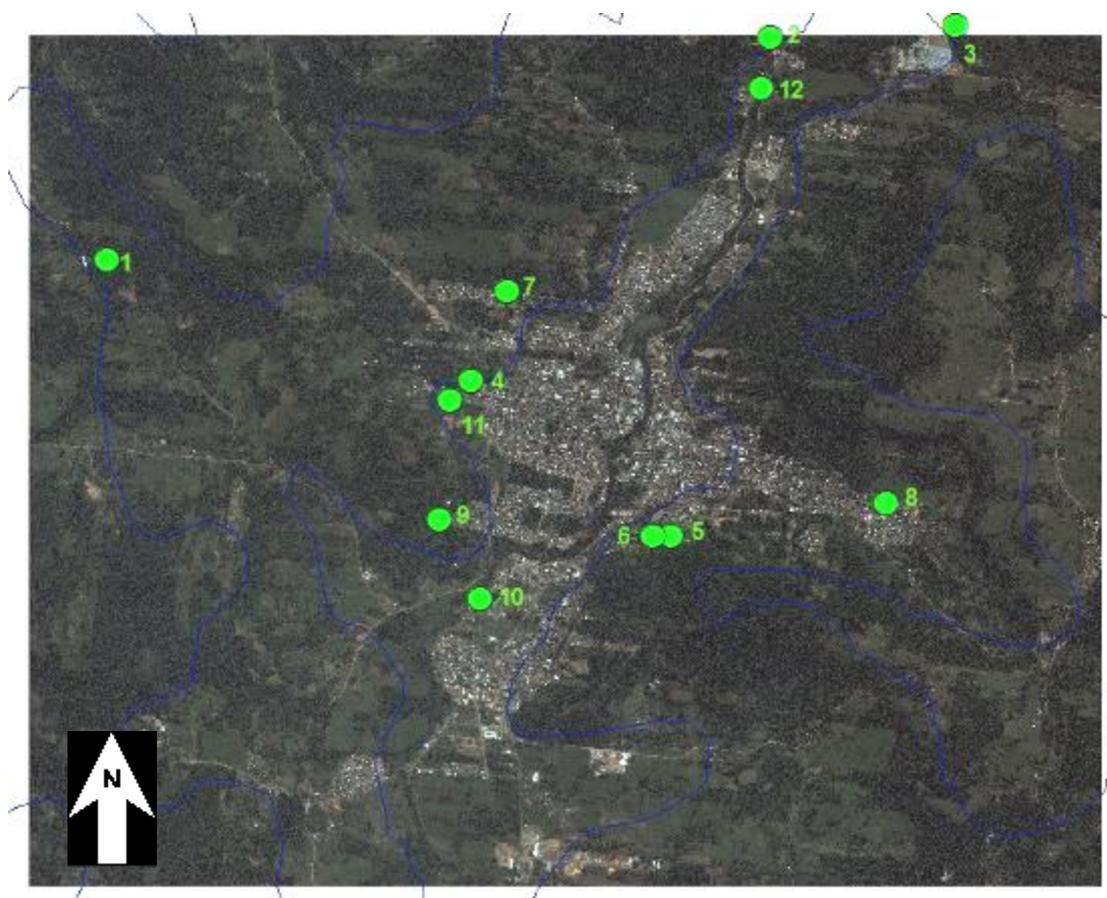
| PONTOS | COORDENADA mE | COORDENADA mN | ELEVAÇÃO (m) | OCORRÊNCIA | LITOLOGIA |
|---------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------|------------------|
| 1 | 515323 | 6730226 | 104 | Blocos | Basalto |
| 2 | 521155 | 6732199 | 71 | Deslizamento | Arenito |
| 3 | 522783 | 6732305 | 71 | Deslizamento | Arenito |
| 4 | 518531 | 6729157 | 79 | Trincas | Arenito |
| 5 | 520286 | 6727778 | 111 | Trincas | Basalto |
| 6 | 520132 | 6727778 | 101 | Deslizamento | Arenito/Basalto |
| 7 | 518848 | 6729951 | 67 | Deslizamento | Arenito/Basalto |
| 8 | 522181 | 6728065 | 80 | Trincas | Arenito/Tálus |
| 9 | 518242 | 6727929 | 95 | Trincas | Arenito/Basalto |
| 10 | 518603 | 6727221 | 33 | Erosão | Coluvios/Aluvios |
| 11 | 518335 | 6728983 | 45 | Deslizamento | Arenito |
| 12 | 521078 | 6731746 | 41 | Erosão | Coluvios/Aluvios |

Fonte: CPRM, 2012 e autora.

É importante destacar que os contornos indicados pelos mapas da CPRM, para o contato arenito basalto, não estão adequados na região.

Na imagem a baixo é possível verificar a localização dos pontos mencionados no Quadro 10.

Figura 42: Pontos com indícios de movimentos e eventos já ocorridos.



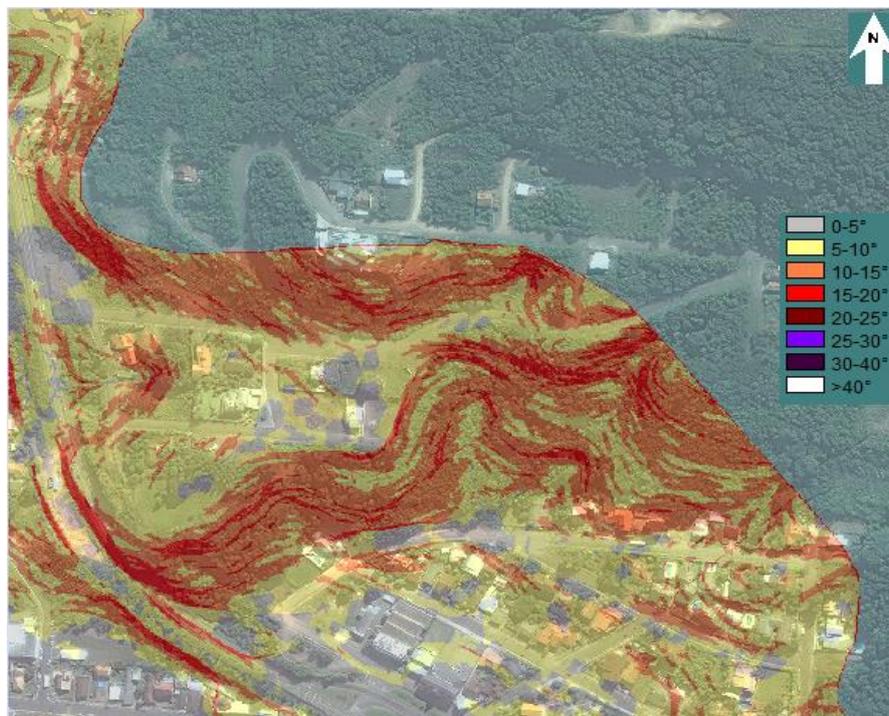
Fonte: CPRM, 2012 e autora.

A partir das constatações iniciais, foi possível classificar a área de Igrejinha em zonas, Figura 40, apresentando dessa forma as regiões que apresentam declividades mais elevadas para maior detalhamento:

- **Zona 1**

A zona 1 encontra-se delimitada pelo plano diretor como área residencial, fato que coincide com a atual ocupação do meio. Está localizada no Bairro Viaduto. De acordo com o mapa gerado a partir do georreferenciamento pode-se constatar ser uma região que apresenta 21 residências, apresentando-se como uma região com pouca densidade populacional. Não há registros de deslizamentos nesse local, variando a declividade de 5° (11%) a 20° (44%). Importante destacar que essa zona é um dos direcionamentos de crescimento da área urbana.

Figura 43: Declividades presentes na Zona 1 de Igrejinha.



No Bairro Viaduto ocorrem problemas de contato entre as duas camadas que formam a sobreposição do arenito e o basalto gerando uma zona de fraqueza no contato, propiciando deslizamentos, como de fato ocorreram, conforme mostra a Figura 44.

Figura 44: Contato do arenito presente no município de Igrejinha (coordenadas geográficas 520.694 e 672.8736).

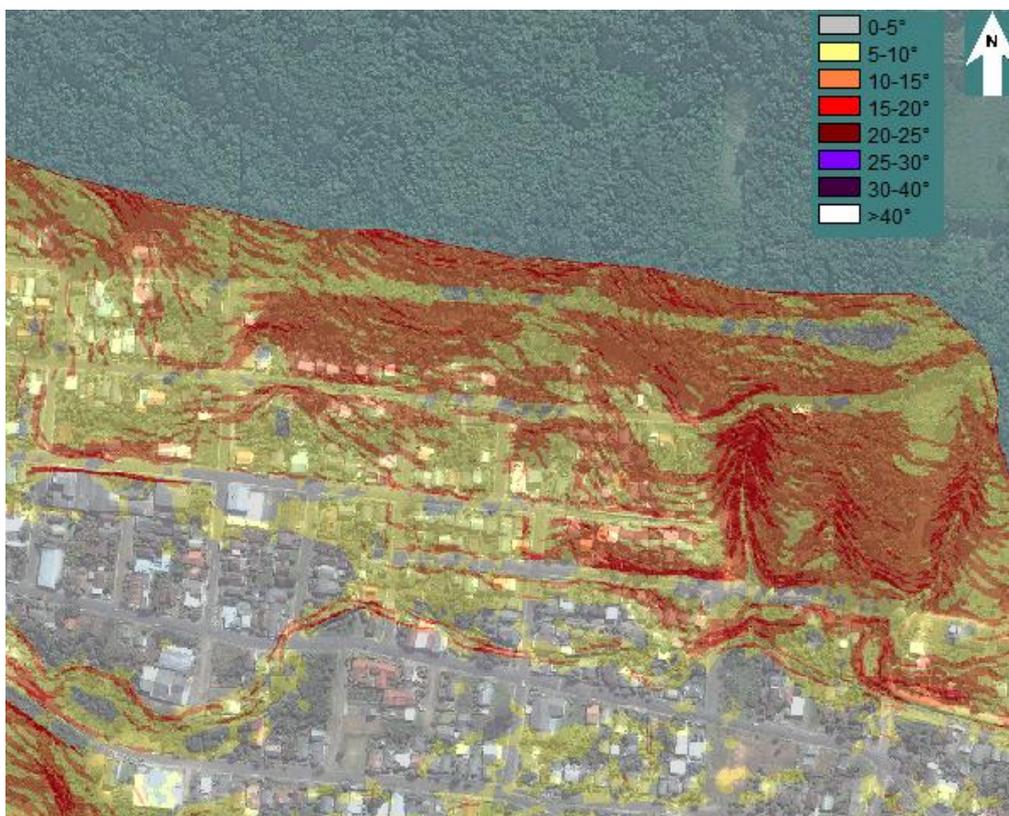


- **Zona 2**

Esse local é uma região densamente povoada, apresentando, aproximadamente, 300 habitações. O local é interesse de crescimento da zona urbana e, de acordo com a Lei 3.824 de 2010, está classificado como residencial e inserido no Bairro Viaduto.

No local não existe registro de eventos de deslizamentos, sendo que as declividades presentes são de 5° a 20°. Os locais mais íngrimes são os que até o momento não apresentam ocupação humana.

Figura 45: Imagem da zona 2 localizada em Igrejinha.



- **Zona 3**

A zona 3 é uma área relativamente bem povoada, apresentando aproximadamente 300 residências. Definida como zona residencial pela Lei do Plano Diretor, pertence ao Bairro Viaduto.

No local já existe a presença de trincas, como pode ser observado pela Figura 46. A geologia é formada por arenitos e as declividades apresentam-se entre as faixas de 5° a 20°.

Figura 46: declividades constantes na zona 3.

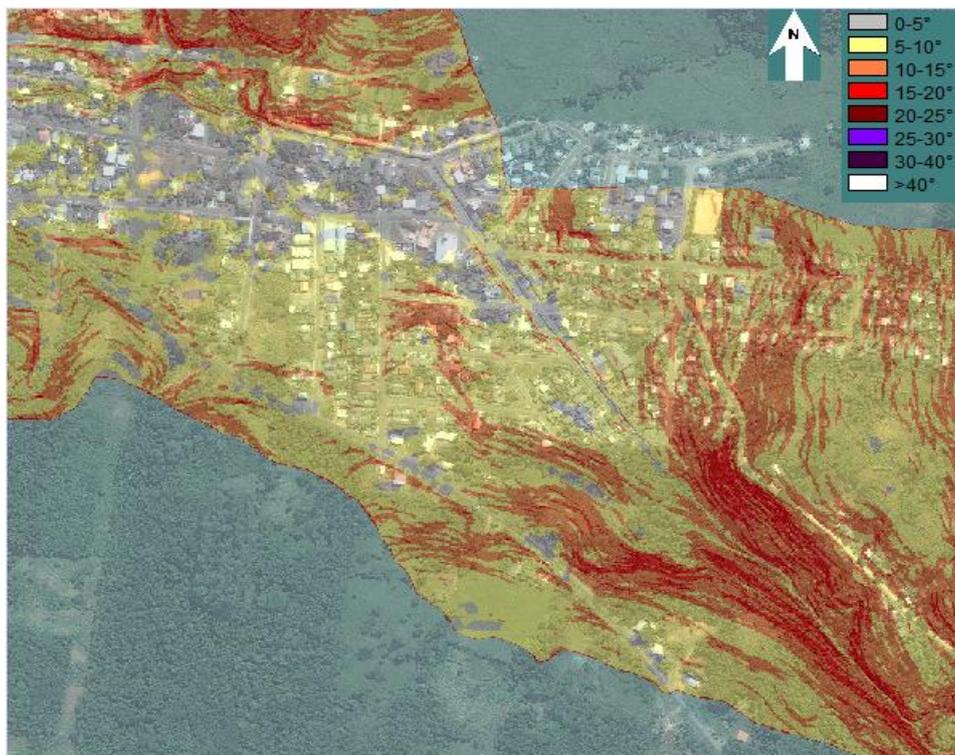


Figura 47: Trincas observadas na zona 3.

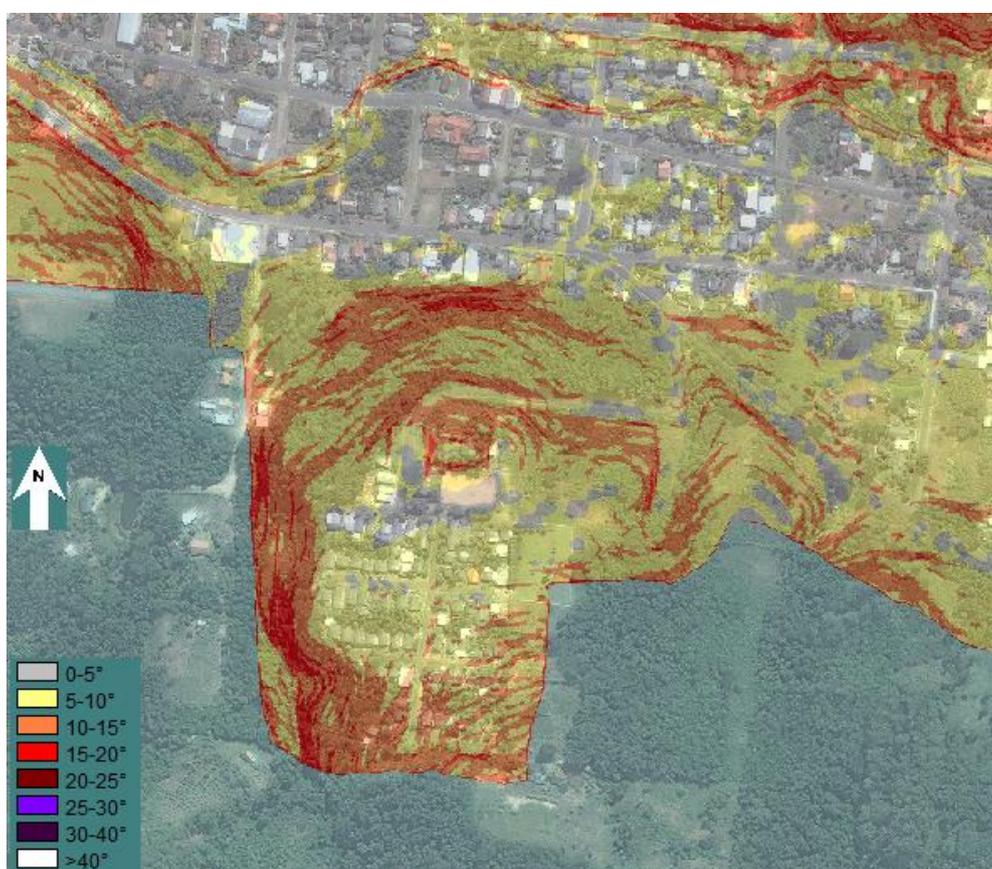


- **Zona 4**

A zona 4 é uma região que apresenta 90 residências. Segundo a classificação da Lei do Plano Diretor, é categorizada como zona de interesse social. Também encontra-se dentro dos limites do Bairro Viaduto.

O local ainda não registrou evento de deslizamento e apresenta declividade entre 5° (11%) a 20° (44%).

Figura 48: Imagem da zona 4 destacando as declividades.

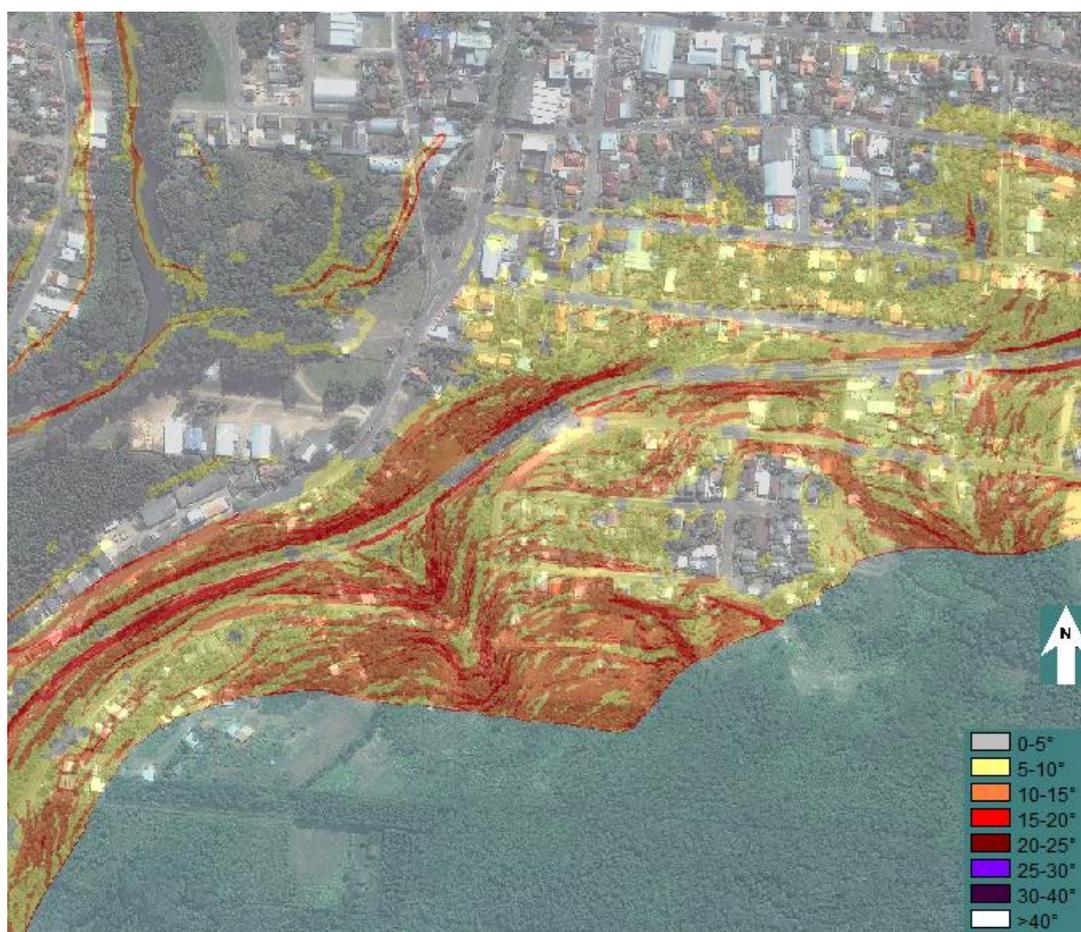


- **Zona 5**

Esse local é classificado pela Lei 3.824 de 2010 como zona residencial, pertencente ao Bairro Saibreira. As declividades estão na faixa de 5° a 20°. É importante salientar que é possível visualizar na região a presença de trincas no solo, na

formação geológica de basalto. Já ocorreu deslizamento na formação de basalto e arenito.

Figura 49: Zona 5 de Igrejinha e suas declividades.



No Bairro Saibreira, o contato entre a camada de arenito e a de basalto provoca processo de deslizamento, como pode ser visualizado na Figura 50 **Error! Reference source not found.** É importante ressaltar que a região apresenta declividade bastante elevada, em torno de 20° (44%), o que propiciou a ocorrência de um movimento no formato rotacional.

Figura 50: Eventos de deslizamento ocorridos na zona 5.



- **Zona 6**

Esse local é classificado como zona residencial, segundo a Lei do Plano Diretor, totalizando aproximadamente 120 residências. A área pertence ao Bairro Figueira. Apresenta declividades entre 5° a 20°, sendo que as regiões mais altas não estão ocupadas. Há registros de deslizamentos na área.

Figura 51: Imagem mostrando o local de deslizamento.

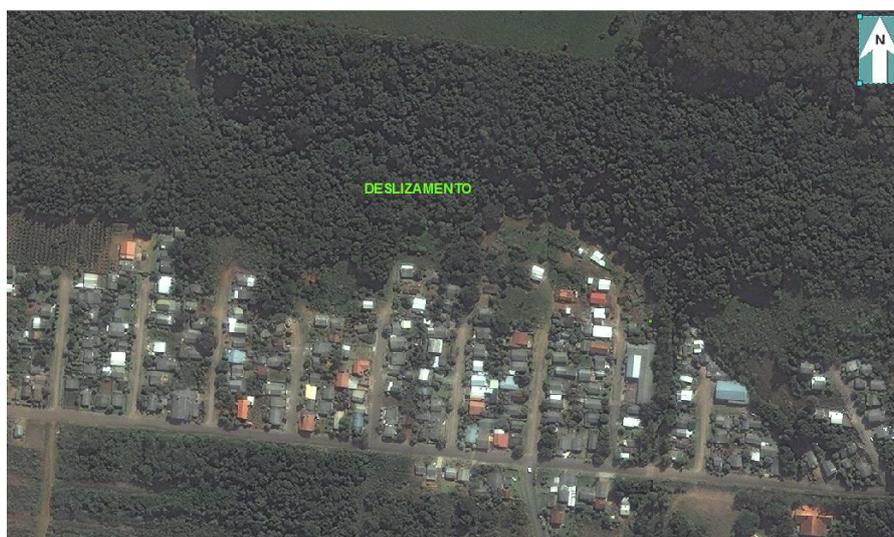
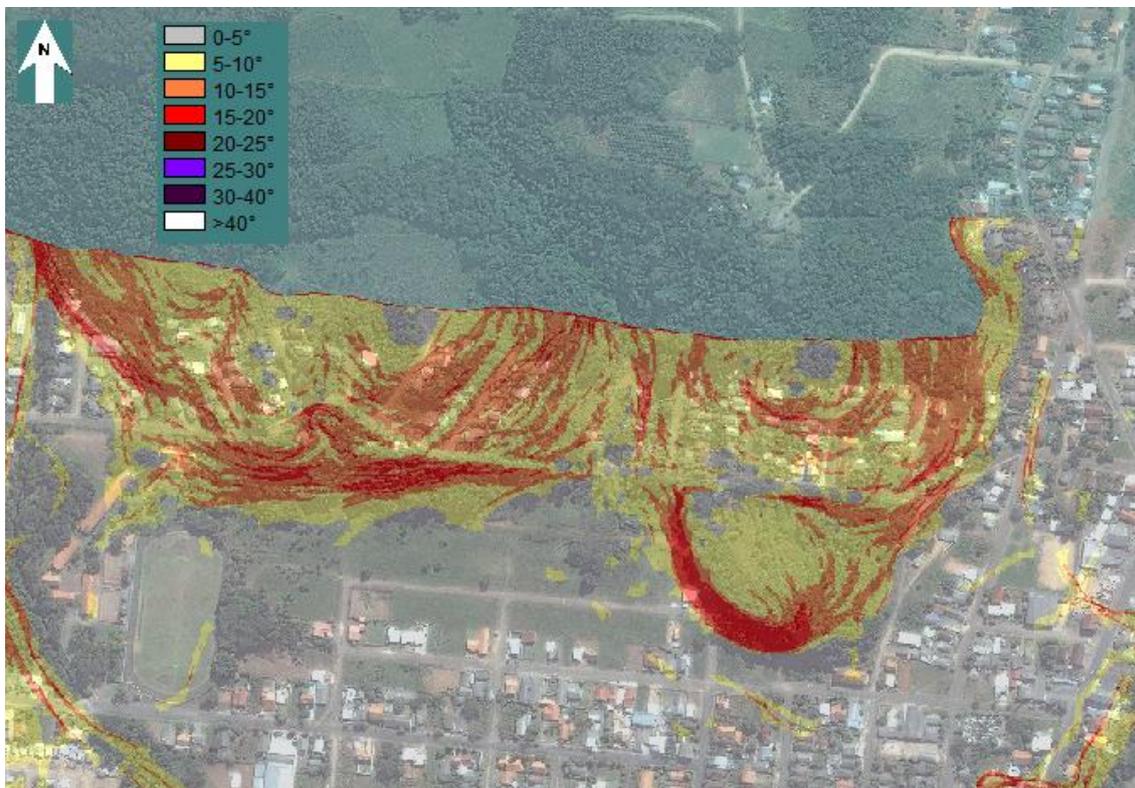


Figura 52: Declividades encontradas na zona 6.



- **Zona 7**

A região é classificada como zona residencial, interesse social e comercial. É ocupada por aproximadamente 60 residências. Pertence ao Bairro Bom Pastor e ao Bairro Vila Nova.

É importante salientar que é essa a região, onde as curvas de nível de 1989 menos abrangiram a imagem Quickbird de 2009. No local já ocorreu evento de deslizamento. As declividades variam entre 5° (11%) a 20° (44%), sendo que o evento ocorreu na declividade de 20°, como apresentado pela Figura 54.

Figura 53: Declividades presentes na zona 7.

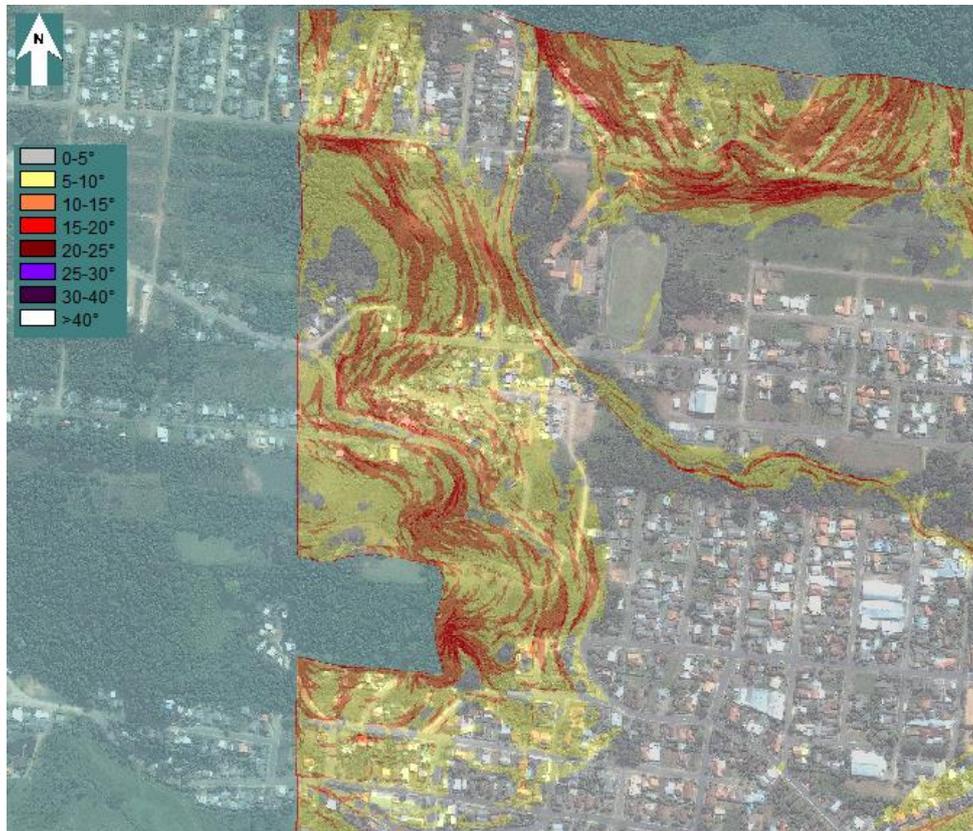
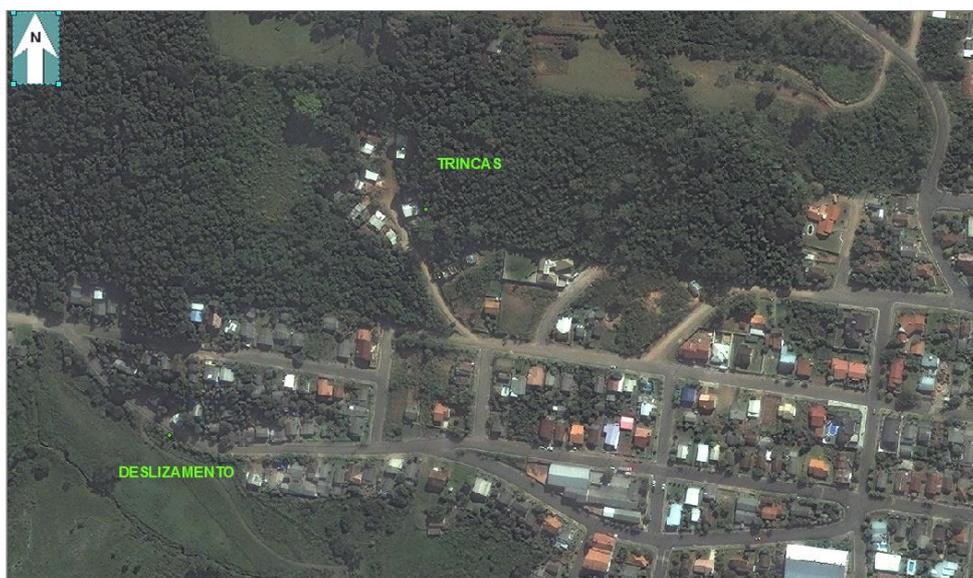


Figura 54: Local do deslizamento ocorrido.

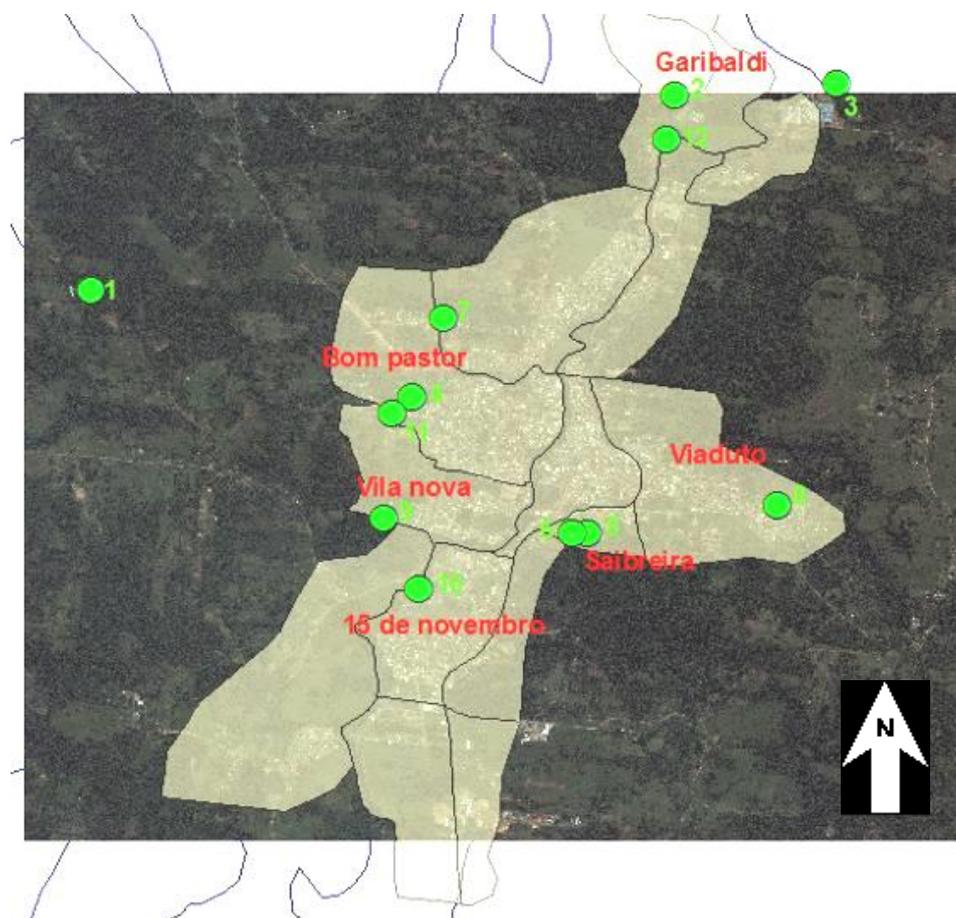


Outros locais que não são abrangidos pela imagem Quickbird de 2009 e que também sofreram deslizamentos estão localizados no Bairro Garibaldi, Figura 42, Pontos 2 e 3. Apresentam litologia formada por arenitos.

As características das duas encostas são extremamente parecidas, por isso, tiveram a mesma evolução de movimento. A região apresenta declividades de 0° a 30° . Nas encostas com inclinação entre 18° e 24° ocorreram deslizamentos do tipo translacional.

É importante restringir o crescimento na zona 7 e na zona 6, bem como nas zonas 1, 2, 3, 4, 5, visto que essas regiões apresentam declividades que, segundo histórico da área, são suscetíveis a deslizamentos. Declividades entre 15° (27%) e 20° (44%) são um fator de suscetibilidade a deslizamentos, visto que os eventos ocorreram nessas declividades.

Figura 55: Localização dos bairros no município de Igrejinha.



Recomenda-se que as ampliações da área urbana, relacionadas aos eventos de deslizamentos devam ocorrer nos bairros: Figueira, Moinho, Invernada, Casa de Pedra, Da Pedreira e Industrial. É importante ressaltar que os bairros Moinho, Da Pedreira e Industrial não estariam sujeitos a inundação.

É importante destacar que, segundo estudo realizado por Riffel (2012), os eventos de movimento de massa que ocorreram no Vale do Paranhana estão localizados sobre as unidades geomorfológicas da Depressão do Rio Jacuí e Planície Alúvio Coluvionar. Os eventos de deslizamento também ocorrem no restante dos municípios do Vale do Paranhana, como pode ser observado no Quadro 11:

Quadro 11: Desastres naturais ocorridos nos municípios do Vale do Paranhana de julho de 2003 a março de 2012.

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

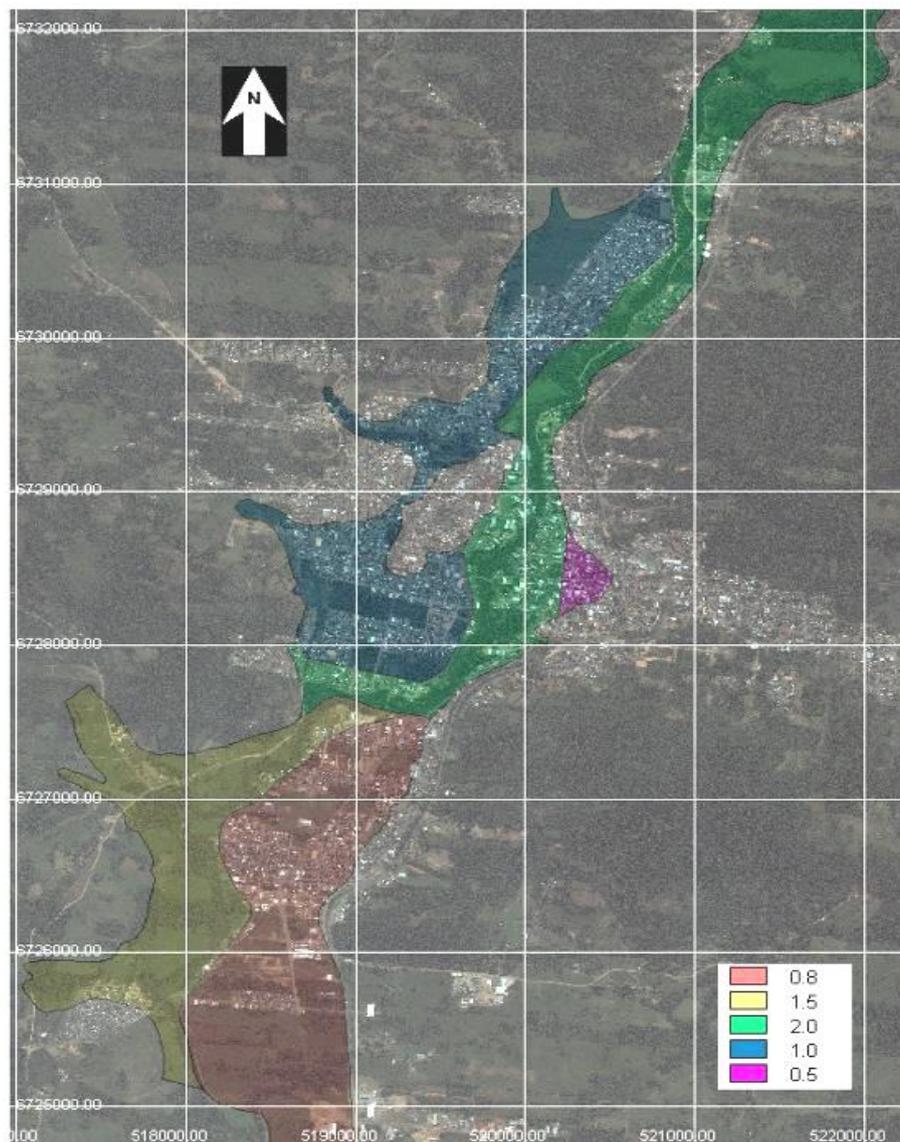
Fonte: DEFESA CIVIL (2012) *apud* RIFFEL (2012)

Conforme o estudo foi possível destacar que nos Bairros Figueira e Viaduto ocorrem deslizamentos rápidos em capas de solo delgadas sobrepostas a arenitos. É que nos Bairros Viaduto e Saibreira ocorrem movimentos do tipo rastejos e movimentos rotacionais em basaltos alterados.

5.3.2 Inundação

Foram também realizadas análises, levando em consideração as cotas de cheia que o município de Igrejinha adota atualmente como parâmetro. As cotas estão distribuídas em cinco diferentes classificações: 0,5 m; 0,8 m; 1,0 m; 1,5 m; e 2,0 m. Tal classificação é indicada na **Error! Reference source not found.**

Figura 56: Cotas de cheias datadas de 1989.

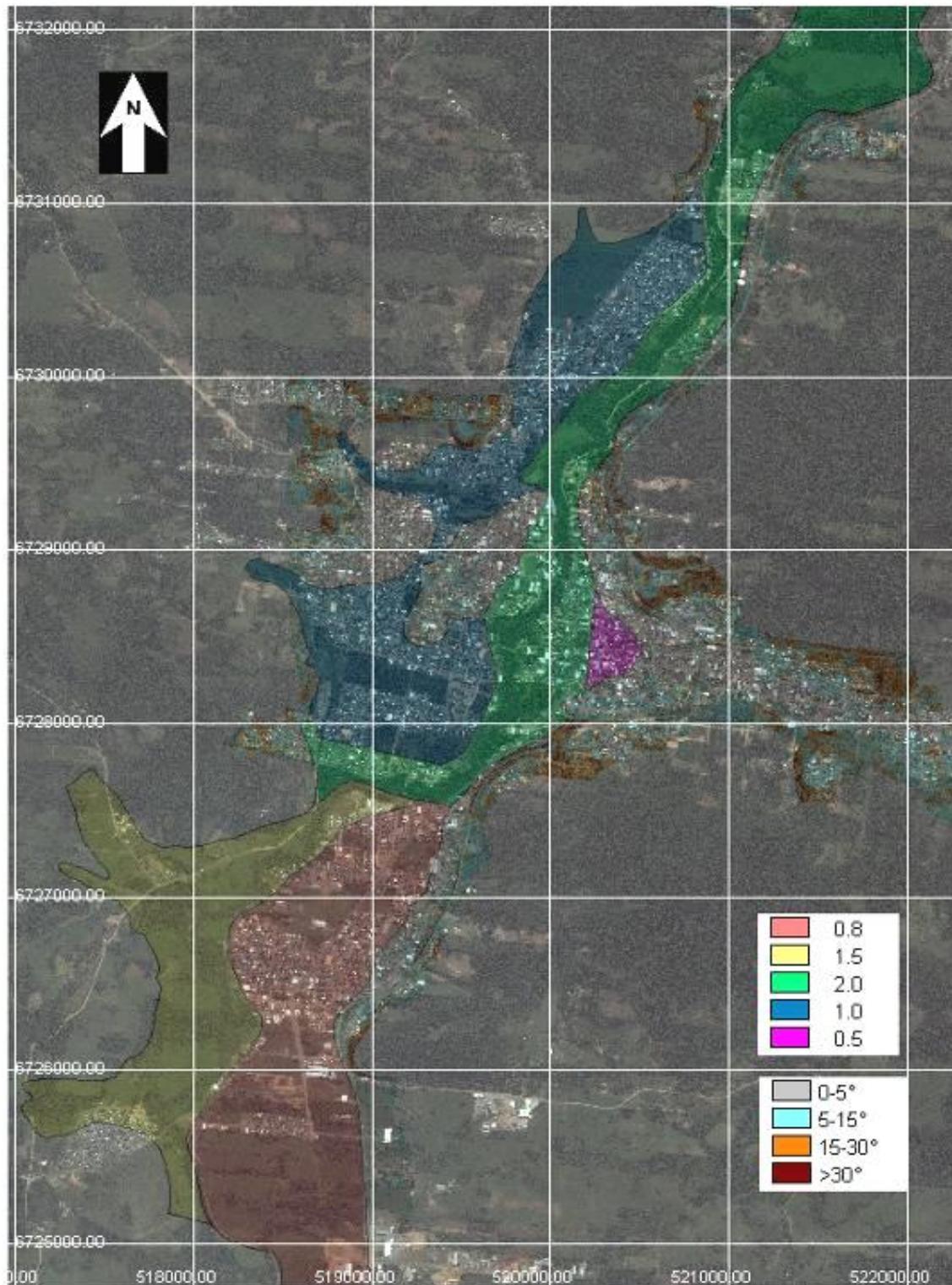


É importante destacar que Igrejinha apresenta vários arroios em sua zona urbana, além do Rio Paranhana que percorre o município no sentido Norte-Sul. Isso gera situações de alagamento, gerando cotas de cheias como a representada pela de 0,5 m, que, possivelmente, sofre inundação do Arroio Koetz. É importante destacar que os dados históricos de inundação serviram como base para a confecção das cotas de cheias que estão apresentadas na **Error! Reference source not found.**

Posteriormente, buscou-se unir os dois principais problemas do município, a questão dos alagamentos e os locais que apresentam declividades altas. Tal imagem pode ser observada na Figura 57, que nos orienta a avaliar que quase toda a totalidade do município está nas zonas de alagamento ou declividades acima de 15°.

Devido a esse motivo de localização do município, é que se torna importante um planejamento territorial urbano, onde se possa avaliar a área ou a região mais adequada para a implantação da infra-estrutura urbana. Nesse ponto, as análises de risco, perigo e suscetibilidade poderão elucidar os usos e aptidões do solo, evitando desastres posteriores e antecipando-se a futuros eventos através de medidas de minimização de impactos.

Figura 57: Composição dos temas: cotas de cheias e declividades.



Para tentar esclarecer o que, de fato, ocorre nos momentos de inundação, os autores Guasselli e Oliveira (2013) desenvolveram um novo modelo para avaliar as cotas de cheias que ocorrem em Igrejinha, baseado na geração de um hietograma de projeto. O modelo considerou os métodos apresentados por Keifer e Chu (1957) e Bertoni e Tucci (2007), seguidos da modelagem hidrológica, baseada nos métodos apresentados por McCarthy (1939), Cunge (1969), SCS (1975) e Tucci (1998). O referido modelo permitiu a espacialização das áreas afetadas, através da utilização de ferramentas de geoprocessamento com suporte de dados altimétricos, obtidos das curvas de 1989 que apresentam 1 metro de distâncias entre si.

A metodologia adotada pelo laboratório foi a divisão da bacia hidrográfica do Rio Paranhana em sub-bacias e o parcelamento do rio principal em segmentos de drenagem menores. O modelo hidrológico chuva-vazão aplicado às sub-bacias é do tipo concentrado, isto é, oferece resultados de vazão somente na saída das mesmas. Já nos segmentos de drenagem detalhados, foi utilizado um modelo de propagação da onda de cheia, em que é possível estimar a vazão e a cota de pico. O resultado dessa nova modelagem está apresentado na **Error! Reference source not found.**, sendo que a mesma é estimada para um tempo de retorno de 10 anos.

Para analisar a ocupação urbana no Vale do Paranhana, é necessário reunir essas informações com as análises de deslizamento em um mapa, o que permite a tomada de decisões sobre o gerenciamento da ocupação urbana, implantando as restrições no Plano Diretor de Igrejinha. Tal mapa preliminar está apresentado na **Error! Reference source not found.**, com mancha de inundação de 10 anos, o qual pode servir como uma carta de orientação para a utilização da área urbana e para o grau de comprometimento atualmente existente nas áreas ocupadas e suscetíveis a acidentes.

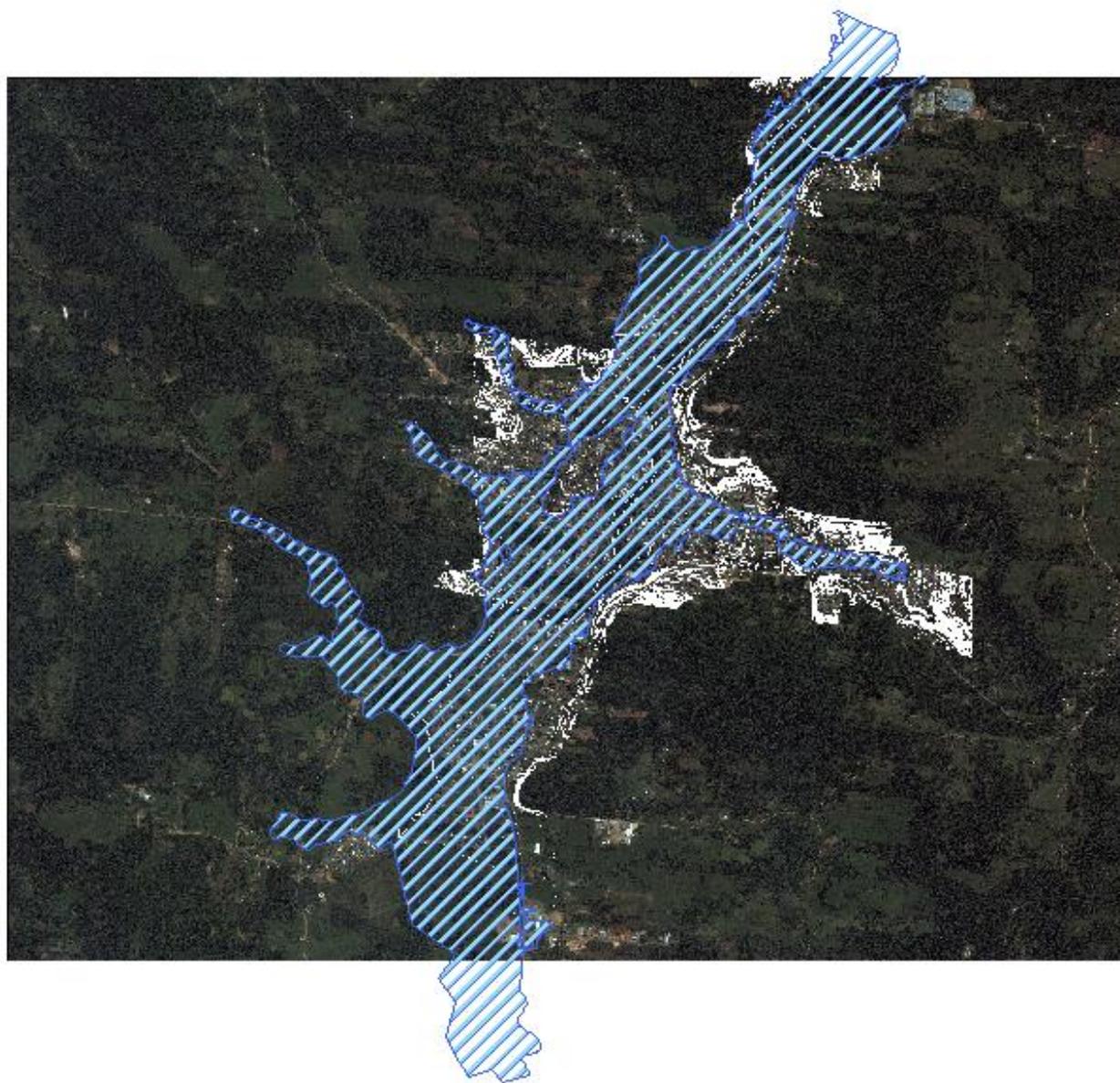
Figura 58: Área inundada para um tempo de retorno de 10 anos.



Fonte: GUASSELLI e OLIVEIRA (2013).

Como pode ser observado, através da comparação entre os dois mapas de inundação, o modelo criado, a partir das curvas de nível, apresenta uma abrangência maior que o elaborado com base no projeto de Controle de Cheias do Rio Paranhana, proposto por Ribeiro *et al.* (2012). Dessa forma, é importante buscar ações que tragam resultados efetivos para essas novas áreas inundadas.

Figura 59: Igrejinha com os níveis de cheia de tempo de retorno de 10 anos e áreas com suscetibilidade a deslizamentos.



Fonte: GUASSELLI e OLIVEIRA (2013).

É importante salientar que no referido projeto de Controle de Cheias do Rio Paranhana a proposta de instalação de um sistema que monitora a precipitação e as cheias do rio é importante e deve ser efetivado. Com isto será possível calibrar o modelo proposto para cheia, já que o mesmo foi baseado em dados de chuvas de Caxias do Sul e de Porto Alegre.

O projeto propõe também a criação de um zoneamento de risco, o que é uma medida muito valiosa para diminuir os efeitos ou ajudar na prevenção dos prejuízos com as inundações. É importante salientar, porém, que essa análise de risco envolve vários critérios, que até o momento estão aquém das possibilidades do Vale Paranhana. Desse modo, o mais adequado para a região seria uma análise de perigo ou até mesmo de suscetibilidade, que proporcionaria uma resposta mais rápida e viabilizaria a implantação de ações imediatas. Posteriormente, o aprofundamento dessa questão poderia gerar uma análise de risco da situação.

Também foi proposto no projeto de Controle de Cheias do Rio Paranhana a construção de diques, áreas verdes, reservatório nos lotes e unidades de conservação como formas de controle, no entanto as técnicas sugeridas não tiveram seus efeitos avaliados para o caso de Igrejinha e devem ter efeitos relativamente pequenos frente ao porte das inundações que lá ocorrem.

Dessa forma conclui-se que o município está inserido em uma região que propicia os eventos mencionados anteriormente, visto que está localizado em um vale. Pela imagem gerada a partir do programa IDRISI avalia-se que grande parcela da área urbana está em áreas sujeitas a inundação ou deslizamentos.

Para minimizar problemas relacionados aos processos de movimentos de massa, sugere-se que o governo municipal preocupe-se em monitorar indícios de movimentos, bem como condicionantes desses eventos, como por exemplo:

1. Pluviômetros: para que possa ser feito o monitoramento da quantidade de precipitação que incide sobre a área urbana, bem como poder avaliar qual a quantidade de precipitação que pode ser considerada fator desencadeante de deslizamentos;
2. Treinamento para técnicos: é importante que seja criado um grupo de pessoas que passem por processos de treinamento para identificação de indícios de deslizamentos como trincas, fendas e rachaduras em paredes de residências. Apesar de essa metodologia identificar apenas movimentos que já estão ocorrendo, é uma forma de evitar prejuízos

maiores se forem tomadas ações de isolamento da área e de remoção da população em perigo;

3. Treinamento para população: é importante que sejam desenvolvidas com a população apresentações de como os indícios de deslizamento podem ser perceptíveis e de quais as ações o cidadão deve tomar e a quem comunicar;
4. Fundo municipal: o governo municipal poderia destinar uma porcentagem de sua arrecadação para ações de prevenção de acidentes, bem como ações de apoio às famílias atingidas com reconstrução de moradias, aquisição de utensílios e alimentos;
5. Legislação municipal: é de suma importância que o município de Igrejinha crie uma legislação restritiva ao uso de áreas com declividades superiores a 15° e que, nesses locais, seja implantada a condicionante de apresentação de estudo técnico referente à geologia e à característica dos solos para propensão a deslizamentos;
6. Vetores de crescimento: é importante que seja limitado o crescimento da cidade no bairro Saibreira, pois é o principal foco de movimento de massa, visto que estão presentes fendas no solo, rastejos e já ocorreram eventos de deslizamentos.

Destaca-se que as declividades acima de 15° são parâmetros de deslizamentos, já que os eventos que ocorreram em Igrejinha estão presentes nessas declividades. Portanto, as áreas que apresentam essa característica devem ser monitoradas, principalmente, os locais em que há fendas e rastejos.

Dessa forma, sugere-se que o município de Igrejinha incentive o desenvolvimento urbano nos seguintes bairros: Moinho, Da Pedreira e Industrial, que, segundo estudo, não apresentam problemas relacionados a deslizamentos de solo e a inundação.

6 CONCLUSÕES

Este trabalho recuperou através do processo de vetorização, as cartas do aerolevante de 1989 para um Sistema de Informações Geográficas (SIG).

A partir das imagens digitalizadas foi utilizado o programa Idrisi para o georreferenciamento. Entretanto as curvas de nível ficaram muito segmentadas com a vetorização automática do programa, gerando arquivos excessivamente grandes. Com isto foi feito o trabalho de ajuste manual através do programa Cartalinx, para as curvas de nível. Este processo foi desenvolvido para todas as 18 cartas do aerolevante.

Com estas informações foi criado um modelo de elevação digital do terreno na escala 1:2.000, da área urbana de 1989. Também foi confeccionado mapa de declividade em faixas de variação de 0% a 10%, 10% a 20%, 20% a 30%, 30% a 40%, 40% a 50% e 50% a 60%.

Também foram adicionados os pontos de acidentes com deslizamentos levantados pelo CPRM e os pontos inspecionados em campo.

Identificou-se deslizamentos rápidos em capas de solo delgadas sobrepostas a arenitos nos Bairros Figueira e Garibaldi (escola Garibaldi e fábrica Schincariol).

Foram identificados rastejos e movimentos rotacionais em basaltos alterados nos Bairros Viaduto e Saibreira.

Observou-se que os contornos indicados pelos mapas da CPRM, para o contato arenito basalto, não estão corretos na região. O que já está sendo analisado em outros trabalhos.

O mapa de declividades foi utilizado no estudo da modelagem de inundação, pelos pesquisadores do Laboratório de Sensoriamento Remoto e Informação Geográfica, permitindo avaliar as áreas inundáveis na região central da cidade, que corresponde a 78 % da área urbana do município.

Grande parte dos deslizamentos importantes, pelo potencial de danos causados, ocorreram em inclinações de 27%.

Com base nestas evidências a aplicação da Lei Otto Lehmann (6.766 de 1979) para o município de Igrejinha se torna pertinente, visto que os deslizamentos ocorreram em declividades a partir da inclinação de 30%. Os projetos para ocupação nessas áreas devem possuir estudos geotécnicos que mostrem a estabilidade da área ou soluções para minimizar os danos.

Foi estudada a relação entre as chuvas e os deslizamentos que tiveram maiores consequências, sendo observado que a precipitação no dia do evento foi de grande intensidade e, possivelmente, desencadeou o deslizamento.

O Plano Diretor do município (Lei 3.824, de 2006), deverá ser reformulado, acrescentando o limitante para empreendimentos em áreas com inclinação superior a 30% de inclinação. Deve ser incentivado o desenvolvimento urbano nos bairros Moinho, Da Pedreira e Industrial.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Apesar de cumprir os objetivos inicialmente propostos, o trabalho necessitaria de um estudo mais aprofundado com relação ao entendimento da geologia, da geotecnia e da geomorfologia local. Essa pesquisa serviria para prever quais seriam as outras áreas que poderiam sofrer deslizamentos baseados nas características dos eventos que já ocorreram.

Seria importante estudar parâmetros de solo como: coesão, ângulo de atrito, umidade para o melhor entendimento dos processos que já aconteceram, podendo assim realizar uma retro análise desses eventos, e também estabelecer possíveis soluções de estabilização das áreas.

Deve-se ampliar a abrangência das curvas de nível para as áreas mais problemáticas.

Aplicar a mesma ferramenta para municípios próximos ou de geomorfologia similar no sul do Brasil.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ATKINSON, P. M., MASSARI, R., 1998. Generalized linear modeling of susceptibility to landsliding in the central Apennines. **Computer & Geosciences**, Italy, n. 24, p. 373-385.

AZAMBUJA, A. R. **Diagnóstico da defesa civil do município de Igrejinha**. Igrejinha. Defesa Civil, 2011.

BANDEIRA, A. P. N. *et al.* Mapeamento de risco de escorregamento: contextualização e estudo de caso em Camaragibe-PE. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 4, 2005, Salvador. **Anais...** Salvador: v1, p. 61-74.

BERTONI, J.C.; TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: ABRH, 2007.

BETTILOLO, L. M. **Caracterização estrutural, hidrogeológica e hidroquímica dos sistemas aquíferos Guarani e Serra Geral no nordeste do Rio Grande do Sul, Brasil**. 2006. Dissertação (Mestrado em Geociências). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

BOLT, B. A.; HORN, W. L.; MACDONALD, G. A.; SCOTT, R.F. **Geological hazards**. Berlin: Springer - Verlag, 1975. 328p.

BRASIL. Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 20 dezembro. 1979, p. 1

BRASIL. Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 11 julho. 2001, p. 1

BRASIL. Lei nº 12.608, de 10 de maio de 2012. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 11 maio. 2012, p. 1

BRESSANI, L. A. Estabilidade de Taludes. In: Notas de aula, 2008.

BRITO, M. M. **Aplicação do geoprocessamento no mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos de massa no Bairro Cascata, Porto Alegre, RS**. 2011. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Luterana do Brasil, Porto Alegre, 2011.

BROMHEAD, E. N. **The stability of slopes**. London: Chapman & Hall, 1992.

CARVALHO, C. S. Risco geotécnico em favelas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 11, 1998, Brasília. **Anais...** 1998. v4, p. 123-141.

CARVALHO, C. S. **Gerenciamento de riscos geotécnicos em encostas urbanas: uma proposta baseada na análise de decisão.** 1996. Tese (Doutorado em Engenharia de Solos) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

CARVALHO, C. S. Processos de instabilização de taludes em maciços artificiais. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 2, 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABMS/ABGE/ ISSMGE. p. 901-908.

CARVALHO, C. S. Análise quantitativa de riscos e seleção de alternativa de intervenção: exemplo de um programa municipal de controle de riscos geotécnicos favelas. In: Workshop Sobre Seguros na Engenharia, 1, 2000, São Paulo. **Anais...** ABGE. p. 49-56.

CASAGRANDE, C. A. **Diagnóstico ambiental e análise temporal da adequabilidade do uso e cobertura do solo na Bacia do Ribeirão dos Marins, Piracicaba, SP.** 2005. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agro ecossistemas) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005

CASCINI, L. Risk assessment of fast landslide–From theory to practice. General Report. In: CONFERENCE ON “FAST SLOPE MOVEMENTS – PREDICTION AND PREVENTION FOR RISK MITIGATION”, 2, 2005, **Anais...** p. 33-52.

CASCINI, L., BONNARD, Ch., COROMINAS, J., JIBSON, R., MONTERO-OLARTE, J. Landslide hazard and risk zoning for urban planning and development. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON LANDSLIDE RISK MANAGEMENT, 2005, p. 199-235.

CERRI, L. E. S. Mapeamento de risco em áreas de ocupação precária nas zonas norte, leste e oeste do município de São Paulo (SP). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL, 5, 2004, São Carlos, **Anais...** ABGE, p. 115-122.

CERRI, L. E. S. **Riscos geológicos associados a escorregamentos: uma proposta para prevenção de acidentes.** 1993. Tese (Doutorado em Geociências). Universidade Estadual Paulista, São Carlos, 1993.

CERVANTES, L. M. S. **Análise de risco a escorregamentos do município do rio de janeiro: geração de informações pedogeotécnicas e pluviométricas georeferenciadas.** Disponível em: http://www.puc-rio.br/ensinopesq/ccpg/pibic/relatorio_resumo2008/relatorios/ctc/civ/eng_civil3.pdf. Acesso em 23 jan. 2013.

CHIQUITO, E. A. **Expansão urbana e meio ambiente nas cidades não metropolitanas: o caso de Franca – SP.** 2006. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

CHOI, J. LEE, S. Landslide susceptibility mapping using GIS and the weight of evidence model. In: INT. J. GEOGRAPHICAL INFORMATION SCIENCE, 8, 2004, v. 18, **Anais...** p. 789–814.

CLARK LABS. Disponível em: <http://clarklabs.org/applications/risk-and-vulnerability-assessment.cfm>. Acesso em: 15 de janeiro de 2013.

CORONADO, J. A. DINIZ, N. C. Proposta metodológica para avaliação de risco por escorregamento na região andina do Eixo Cafeteiro, Quindío, Colômbia. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 4, 2005. Salvador. **Anais...** v1, p. 51-60.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM – Investigação de Campo, 2012.

CRUDEN, D. M. e VARNES. D. J. Landslide types and processes. **Landslides – investigation and mitigation**. Washington, 1996.

CUNGE, J. A. On the Subject of a Flood Propagation Computation Method (Muskingum Method). **Journal of Hydraulic Research**, v. 7, no. 2, p. 205-230, 1969.

DAI, F.C., LEE, C.F. Terrain-based mapping of landslide susceptibility using a geographical information system: a case study. **Canadian Geotechnical Journal** **38**: 911-923, 2001.

DONATI, L., TURRINI, M. C. An objective method to rank the importance of the factors predisposing to landslides with the GIS methodology: Application to an area of the Apennines (Valnerina; Perugia, Italy). **Engineering Geology**. 63, p.277–289, 2002.

FERNANDES, N. F., GUIMARÃES, R. F., GOMES, A. T., VIEIRA, B. C., MONTGOMERY, D. R. e GREENBERG, H. Condicionantes Geomorfológicas dos Deslizamentos nas Encostas: Avaliação de Metodologias e Aplicação de Modelo de Previsão de Áreas Susceptíveis. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 2, n. 1, p. 51-71, 2001.

FREDLUND, D. G. **Slope stability analysis incorporating the effect of soil suction. Slope Stability**. John Wiley, Chichester, p. 113-144, 1987.

GOOGLE INC. Google maps. Disponível em: https://maps.google.com.br/maps?q=google&oe=utf-8&rls=org.mozilla:emUS:official&client=firefox-a&gws_rd=cr&um=1&ie=UTF-8&hl=ptBR&sa=N&tab=wl. Acesso em: 10 de março 2012.

GOBIN, A. *et al.* **Assessment and reporting on soil erosion**. Copenhagen: European Environmental Agency, 2003

GUASSELLI, L. A. e OLIVEIRA, G. G. **Modelagem Hidrológica de Igrejinha**. 2013.

GUIDICINI, G. NIEBLE, C. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. São Paulo: Editora Blucher, 1983.

GUSMÃO, F. MELO, J. A. ALHEIROS, M. M. Estudo das encostas de Jabotão dos Guarapes, PE. In: CONFERENCIA BRASIELIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 1, 1992, RIO DE JANEIRO. **Anais...** Rio de Janeiro: ABMS/ABGE/PCRJ, v. 1, p. 191-209.

HIGHLAND, L.M., and BOBROWSKY, P. **The landslide handbook – A guide tounderstanding landslides**. Reston, Virginia, U.S. Geological Survey Circular 1325, 2008.

IGREJINHA. Lei nº 3824, de 27 de outubro de 2006.**Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, RS, 27 de outubro. 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Folha Gravataí SH. 22-X-C, 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/>. Acesso em: 15 de julho de 2012.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). **Apoio a prevenção e redução de riscos em assentamentos precários**. 2007

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLOGICAS – IPT. Celso Santos Carvalho, Eduardo Soares de Macedo e Agostinho Tadashi Ogura, (Org.). **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios**. Brasília: Ministerio das Cidades, Instituto de Pesquisas Tecnologicas, 2007

JESUS, A. C. *et al.* Contribuição para o zoneamento das áreas com características geotécnicas semelhantes da cidade de Salvador visando aplicação em mapeamento de risco. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 4, 2005. **Anais...** Salvador, v1, p. 17-26.

JOINT TECHNICAL COMMITTEE ON LANDSLIDES AND ENGINEERED SLOPES – JTC1 – FELL, R. COROMINAS, J. BONNARD, C. CASCINI, L. LEROI, E. SAVAGE, W. (Org). **Engineering Geology**. 2008.

KEIFER, C. J., CHU, H. H. Synthetic torm pattern for drainage design – Journal of the Hydraulics Division. **American Society of Civil Engineers**, New York, v.83, n.4, Aug. 1957.

LEROUEIL, S., LOCAT, J., VAUNAT, J., PICARELLI, L., FAURE, R. Geotechnical characterisation of slope movements. In: PROC. OF THE SYMP.ON LANDSLIDES. TRONDHEIM, 8, 1996. NORWAY. Vol 1: 53-74.

LONGLEY, P. A. *et al.* **Geographical Information Systems and Science**. 2nd. ed. New York: John Wiley, 2011.

MACIEL FILHO, C. L. **Introdução à geologia de Engenharia**. Santa Maria: Editora UFSM, 2008.

MATTOS, E. F. O. *et al.* Critérios de hierarquização de intervenção em áreas de risco definidas pelo Plano Diretor de Encostas do município de Salvador. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 4, Salvador, 2005. **Anais...** v1, p. 3-16.

MORGENSTERN, N.R. Toward landslide risk assessment in practice. In: LANDSLIDE RISK ASSESSMENT, 1997, Rotterdam: Balkema, p.15-23

NARDOCCI, A.C. **Risco como instrumento de gestão ambiental.** 1999. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.

NOGUEIRA, F. R. **Gerenciamento de riscos ambientais associados a escorregamentos: contribuição as políticas públicas municipais para áreas de ocupação subnormal.** Tese. (Doutorado em Geociências). Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2002.

OLIVEIRA, A. M. S; BRITO, S. N. A. **Geologia de Engenharia.** ABGE, 1998.

PINHEIRO, R. J. B. **Estudo de alguns casos de instabilidade da encosta da Serra Geral no Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.** 2000. Tese (Doutorado em Engenharia) – PPGEC/UFRGS, 2000.

QUEIROZ, R. C. **Geologia e geotecnia básica para a engenharia civil.** São Carlos: Editora Rima, 2009.

REVISTA FUNDAÇÕES & OBRAS GEOTÉCNICAS. **Morro do Bumba recebe obras de recuperação e revitalização.** Editora: Rudder.Ed. 10, 2011.

RIBEIRO, L. T. *et al.* **Proposições de medidas estratégicas e integradas para o controle de cheias do Rio Paranhana.** TR Arquitetura. Porto Alegre, 2012.

RIFFEL, E. S. Ocorrência de movimentos de massa na bacia hidrográfica do rio Paranhana - RS. In: BOLETIM GAÚCHO DE GEOGRAFIA, 2012, Porto Alegre Vol. 39, p. 193-209.

ROCHA NETO, M. B.; FRANTZ, J. C. **Geologia da Folha Gravataí SH.22-X-C-V.** Brasília: CPRM e UFRGS, 2008.

ROCHA, C. H. B. **Fundamentos de geoprocessamento.** Viçosa. Universidade Federal de Viçosa. Disponível em <http://www.ltc.ufes.br/geomaticsce/Modulo%20Geoprocessamento.pdf>. Acesso em: 23 jan. 2012.

RODRIGUES, V. L.; AUGUSTO, O. Mapeamento geotécnico como base para o planejamento urbano e ambiental: município de Jaú (SP). **Revista Brasileira de geociências**, v. 39, n. 1, p. 1 – 15, mar. 2009

ROMANI, S. J.; ALBUQUERQUE, L. F. F. **Aspectos geológicos, geoquímicos e potencialidade em depósitos de Ni-Cu-EGP do magmatismo as Bacia do Paraná.** Porto Alegre: CPRM, 2010.

ROSS, J. L. C. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. São Paulo: Editora Contexto, 2001.

SANTOS, A. R. dos. **Geologia de Engenharia: conceitos, método e prática**. São Paulo: ABGE (Publicação IPT 2797), 2002. 222p.

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004

SCS. **Urban hidrology for small watersheds**. Washington. US. Dept. Agr, 1975.

SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (SEMA). Disponível em: <http://www.sema.rs.gov.br/>. Acesso em: 19 de junho de 2012.

SILVA, J. X.; CARVALHO, L. M. Sistemas de Informação Geográfica: uma proposta metodológica. In: CONFERÊNCIA LATINO - AMERICANA SOBRE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E II SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, 4, 1993, **Anais...** São Paulo: USP, 1993. p.609- 628.

TERZAGHI, K. Mechanism of landslide. **Application of Geology to Engineering Practice**. Geological Society of America, New York, p. 83-123, 1950.

THIEBES, B. **Landslide analysis and early warning systems local e regional case study in the Swabian Alb**. Berlin: Springer, 2012.

TOMINAGA, L. K. **Avaliação de metodologias de análise de risco a escorregamentos: aplicação de um ensaio em Ubatuba, SP**. Tese (Doutorado em Ciências – Geografia física). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

TUCCI, C. E. **Modelos hidrológicos**. ABRH. Ed. da Universidade – UFRGS. Porto Alegre, 669p. 1998.

UNITED NATIONS (ONU). **Living with risk: a global review of disaster reduction initiatives**. New York and Geneva, 2004.

VIEIRA, E. F. **Rio Grande do Sul: geografia física e vegetação**. Porto Alegre: Sagra, 1984.

VIERO, A. C.; SILVA, D. R. A. **Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Sul. Panorama geologia do Brasil. Levantamento da geodiversidade**. CPRM, 2010.

WORKING GROUP – COMMITTEE ON RISK ASSESSMENT. Quantitative risk assessment for slopes and landslides – the state of the art. In: CRUDEN, D.; FELL, R. (Ed.), **Landslide risk assessment**. Proceedings of the International Workshop on Landslide Risk Assessment. A. A. Balkema. 1997. p. 3-14.

ZÁLAN, P.V., WOLFF, S., CONCEIÇÃO, J.C.J., MARQUES, A., ASTOLFI, M.A.M., VIEIRA, I.S., APPI, V.T. E ZANOTTO, O.A. de RAJA GABAGLIA e MILANI, E. J. (Coords.). **Origem e Evolução das Bacias Sedimentares: Bacia do Paraná**. PETROBRÁS 1990.

8 ANEXOS

Anexo 1: Histórico de precipitação ao longo dos anos.

| Ano | Meses / precipitação (mm) | | | | | | | | | | | | Total (mm) |
|------|---------------------------|---------------|---------------|---------------|--------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------|---------------|------------|
| | Janeiro | Fevereiro | Março | Abril | Maió | Junho | Julho | Agosto | Setembro | Outubro | Novembro | Dezembro | |
| 1943 | 158,20 | 109,30 | 162,80 | 26,90 | 123,00 | 103,00 | 82,00 | 79,00 | 49,00 | 46,00 | 40,00 | 108,00 | 1087,20 |
| 1944 | 210,00 | 96,00 | 186,00 | 25,00 | 26,00 | 288,00 | 75,00 | 127,00 | 94,00 | 146,00 | 66,00 | 73,00 | 1412,00 |
| 1945 | 55,60 | 93,00 | 69,00 | 52,00 | 11,10 | 137,80 | 175,00 | 24,00 | 31,80 | 25,40 | 81,00 | 90,00 | 845,70 |
| 1946 | 216,00 | 148,00 | 64,00 | 53,00 | 65,00 | 119,00 | 43,00 | 59,00 | 21,00 | 92,00 | 81,00 | 190,00 | 1151,10 |
| 1948 | 300,00 | 44,40 | 327,00 | 158,00 | | 143,20 | | 99,80 | | | 86,50 | 19,00 | 1177,90 |
| 1949 | 167,00 | 116,00 | 190,00 | 129,80 | 56,20 | 93,20 | 149,60 | 100,00 | 191,20 | 70,00 | 29,00 | 106,80 | 1400,00 |
| 1950 | 165,20 | 152,00 | 93,40 | 103,20 | 112,40 | 73,20 | 109,60 | 81,00 | 93,20 | 143,40 | 27,40 | 95,70 | 1249,70 |
| 1951 | 116,60 | 165,50 | 52,80 | 101,10 | 50,40 | 58,40 | 17,20 | 13,80 | 166,30 | | | 18,80 | 760,90 |
| 1952 | 79,20 | 85,00 | 30,00 | 22,20 | 34,00 | 202,90 | 33,20 | 74,00 | 48,40 | 143,60 | 90,60 | 109,20 | 952,30 |
| 1953 | 71,80 | 28,60 | 71,00 | 107,60 | 126,80 | 110,40 | 88,30 | 101,40 | 130,70 | 142,10 | 33,00 | 45,40 | 1057,10 |
| 1954 | 326,00 | 185,70 | 62,40 | 44,80 | 89,40 | 188,80 | 232,60 | 179,80 | 227,40 | 161,80 | 38,80 | 89,00 | 1826,50 |
| 1955 | 105,40 | 185,90 | 154,60 | 189,40 | 105,80 | 108,40 | 93,00 | 121,60 | 169,80 | 168,00 | 27,20 | 86,40 | 1515,50 |
| 1956 | 219,00 | 163,00 | 107,20 | 146,10 | 95,60 | 152,40 | 65,40 | 106,20 | 154,00 | 185,20 | 38,20 | 54,20 | 1486,50 |
| 1957 | 328,40 | 73,90 | 103,30 | 281,80 | 48,40 | 119,40 | 76,30 | 72,00 | 170,80 | 139,40 | 68,80 | 151,60 | 1634,10 |
| 1958 | 101,40 | 112,80 | 123,20 | 103,40 | 88,00 | 134,50 | 45,40 | 200,60 | 113,80 | 85,60 | 141,60 | 224,00 | 1474,30 |
| 1959 | 142,40 | 85,60 | 137,40 | 145,20 | 78,40 | 173,00 | 93,40 | 269,00 | 218,80 | 78,40 | 38,40 | 128,80 | 1588,80 |
| 1960 | 183,20 | 166,40 | 129,60 | 115,00 | 66,20 | 122,00 | 162,00 | 174,80 | 149,60 | 181,40 | 153,00 | 61,40 | 1664,60 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|------|---------------|---------------|---------------|--------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-----------|
| 1961 | 95,80 | 151,40 | 184,20 | 133,80 | 61,60 | 175,60 | 160,20 | 109,00 | 313,60 | 382,80 | 185,40 | 210,60 | 2164,00 |
| 1962 | 127,20 | 51,60 | 176,00 | 81,20 | 60,00 | 38,00 | 70,60 | 90,20 | 124,20 | 67,60 | 46,20 | 92,40 | 1.025,20d |
| 1963 | 218,20 | 169,40 | 143,40 | 53,20 | 68,30 | 21,10 | 84,10 | 141,90 | 159,30 | 380,80 | 272,60 | 83,90 | 1796,20 |
| 1964 | 28,00 | 133,40 | 121,20 | 95,10 | 34,60 | 58,00 | 132,10 | 113,20 | 157,30 | 81,40 | 41,30 | 160,30 | 1155,90 |
| 1965 | 33,80 | 97,40 | 93,30 | 62,90 | 72,40 | 44,10 | 92,30 | 295,20 | 246,20 | 176,90 | 127,70 | 262,40 | 1604,60 |
| 1966 | 245,90 | 426,00 | 129,40 | 60,50 | 4,70 | 168,40 | 237,70 | 145,40 | 126,10 | 214,10 | 67,50 | 313,90 | 2139,60 |
| 1967 | 115,00 | 135,30 | 75,80 | 18,50 | 47,80 | 80,50 | 60,90 | 89,80 | 363,40 | 64,40 | 150,20 | 64,00 | 1265,50 |
| 1968 | 112,20 | 112,30 | 179,30 | 82,40 | 35,40 | 92,20 | 67,30 | 13,40 | 161,30 | 133,10 | 120,00 | 131,80 | 1240,70 |
| 1969 | 196,40 | 341,20 | 106,00 | 89,90 | 95,30 | 52,10 | 41,10 | 111,00 | 153,20 | 24,80 | 103,10 | 121,80 | 1435,80 |
| 1970 | 192,80 | 98,90 | 237,80 | 51,10 | 232,20 | 209,90 | 200,00 | 128,40 | 36,30 | 216,00 | 65,20 | 125,40 | 1794,00 |
| 1971 | 193,90 | 287,00 | 231,90 | 122,30 | 100,60 | 122,10 | 85,00 | 222,60 | 50,10 | 43,20 | 107,50 | 172,10 | 1738,30 |
| 1972 | 245,20 | 183,50 | 358,60 | 187,70 | 72,60 | 211,80 | 150,30 | 231,20 | 258,10 | 152,60 | 143,20 | 166,90 | 2361,70 |
| 1973 | 226,60 | 224,40 | 50,80 | 171,00 | 129,30 | 124,60 | 145,40 | 196,10 | 138,10 | 137,70 | 93,90 | 232,80 | 1870,70 |
| 1974 | 135,60 | 115,90 | 233,40 | 45,00 | 131,30 | 152,90 | 69,90 | 45,90 | 102,80 | 40,90 | 179,40 | 248,00 | 1501,00 |
| 1975 | 99,20 | 249,60 | 164,20 | 62,80 | 63,60 | 125,90 | 56,10 | 268,40 | 205,60 | 97,20 | 126,80 | 92,90 | 1612,30 |
| 1976 | 223,10 | 121,40 | 272,10 | 57,20 | 205,50 | 146,10 | 226,40 | 142,90 | 110,80 | 126,50 | 138,60 | 135,10 | 1905,70 |
| 1977 | 273,20 | 302,50 | 237,40 | 71,00 | 57,80 | 128,30 | 213,10 | 187,20 | 92,50 | 115,70 | 186,40 | 162,20 | 2027,30 |
| 1978 | 109,60 | 119,50 | 104,10 | 19,90 | 53,20 | 91,80 | 120,40 | 115,90 | 100,40 | 151,40 | 127,20 | 170,70 | 1284,10 |
| 1979 | 20,80 | 44,30 | 130,80 | 138,90 | 116,70 | 83,30 | 99,50 | 117,30 | 73,30 | 109,80 | 174,90 | 225,60 | 1335,20 |
| 1980 | 160,60 | 174,50 | 102,30 | 74,90 | 141,20 | 33,40 | 227,60 | 147,10 | 125,00 | 142,40 | 178,40 | 292,60 | 1800,00 |
| 1981 | 88,30 | 265,60 | 73,80 | 104,60 | 54,40 | 159,90 | 87,60 | 64,00 | 204,50 | 96,50 | 112,50 | 138,80 | 1450,50 |
| 1982 | 68,50 | 93,60 | 67,20 | 20,90 | 57,80 | 344,80 | 100,60 | 140,40 | 187,60 | 201,50 | 195,40 | 151,00 | 1629,40 |
| 1983 | 192,30 | 298,40 | 125,20 | 160,90 | 216,70 | 116,90 | 320,10 | 272,40 | 98,80 | 217,00 | 237,10 | 69,50 | 2325,30 |
| 1984 | 288,30 | 251,90 | 89,80 | 168,00 | 225,40 | 373,50 | 197,00 | 141,70 | 76,60 | 167,70 | 95,40 | 117,20 | 2192,50 |
| 1985 | 78,60 | 112,40 | 251,00 | 139,40 | 89,40 | 104,70 | 128,40 | 282,10 | 123,00 | 71,70 | 15,00 | 145,70 | 1541,40 |
| 1986 | 121,30 | 186,80 | 134,50 | 211,10 | 171,60 | 97,80 | 128,60 | 188,60 | 121,70 | 156,50 | 326,70 | 217,40 | 2063,60 |
| 1987 | 196,10 | 164,20 | 55,90 | 145,70 | 176,70 | 146,00 | 288,70 | 260,40 | 187,00 | 156,10 | 203,70 | 330,60 | 2311,10 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| 2007 | 117,60 | 137,40 | 128,20 | 97,20 | 112,60 | 148,80 | 157,20 | 151,20 | 141,10 | 127,20 | 122,30 | 100,80 | 1541,60 |
| 2010 | 196,00 | 178,00 | 148,00 | 229,00 | 221,50 | 145,00 | 196,00 | 48,00 | 263,00 | 88,00 | 200,00 | 102,00 | 2014,50 |
| 2011 | 266,00 | 253,00 | 169,00 | 295,00 | 48,00 | 169,00 | 291,00 | 266,00 | 116,00 | 192,00 | 26,00 | 86,00 | 2177,00 |
| 2012 | 184,00 | | | | | | | | | | | | |

FONTE: Estudo Hidrológico do Arroio Koetz– Posto 02 950 029 (Dnaee – CEEE/RS) - Sander – Três Coroas e Corpo de Bombeiros de Taquara *apud* AZAMBUJA, 2011.

Anexo 2: Definição dos usos incentivados e permissíveis a partir da Lei 3.824 de 2006.

| | | |
|------------------|--|--|
| | Residencial | habitação unifamiliar, habitação coletiva, pensões, albergues. |
| Comercial | Comércio varejista I - INÓCUO | alimentícios (armazém) e fruteiras, armarinhos e bijuterias; banca de jornais e revistas; agências lotéricas; calçados e artefatos de couro; artigos fotográficos; lojas de tecidos e artigos de vestuário; artigos de borracha e plástico; presentes, artesanato e souvenir, artigos de decoração, brinquedos, bazares; tabacaria/revistas; antiguidades; ferragens; livrarias e papelarias; joalherias e óticas; floristas e floriculturas; vidraçarias; perfumarias; eletrodomésticos; móveis e tapetes; máquinas, aparelhos, equipamentos diversos; equipamentos de som e instrumentos musicais; material elétrico; instrumentos médicos hospitalares; material odontológico, aparelhos ortopédicos, equipamentos científicos e de laboratório; artigos para escritório. |
| | Comércio varejista II - INTERFERÊNCIA AMBIENTAL DE NÍVEL 1 | malharia; bar, café e lancheria; funerária; padaria (sem forno à lenha); restaurante e pizzaria (sem forno à lenha); posto de abastecimento de combustível; farmácia, drogaria. |
| | Comércio varejista III - INTERFERÊNCIA AMBIENTAL DE NÍVEL 2 | padaria (com forno à lenha); restaurante e pizzaria (com forno à lenha); depósito e revenda de gás classe I, II e III; artigos religiosos; centros comerciais; discos e fitas; equipamentos de segurança; lavanderia e tinturaria industrial; loja de departamentos; máquinas, aparelhos, equipamentos diversos de grande porte; peças e acessórios para veículos; produtos agrícolas e veterinários; supermercados; revenda de veículos; churrascaria. |
| | Comércio atacadista II INTERFERÊNCIA AMBIENTAL DE NÍVEL 2 | alimentos; bebidas e fumo; peles e couros; vestuário e têxteis; papel, artigo para papelaria; produtos para fotografia e cinematografia; materiais óticos e cirúrgicos; mobiliário; máquinas, veículos e equipamentos; produtos farmacêuticos; materiais de construção; madeiras. |

| | | |
|-----------------|---|--|
| | Comércio atacadista III INTERFERÊNCIA AMBIENTAL DE NÍVEL 3 | <p>depósito ou posto de revenda de gás classe 4 e 5; minérios, metais, resinas, plásticos borrachas; alimentos armazenados em câmaras frigoríficas; gráficas; defensivos agrícolas, produtos para dedetização e outras substâncias inflamáveis ou tóxicas.</p> |
| Serviços | Serviços I - INÓCUOS | <p>agência de correios e telégrafos; agência de locação de móveis, louças e semelhantes; agência de viagens e turismo; agência telefônica; empresa de limpeza e vigilância sem armazenamento de produtos químicos; escritórios profissionais; estúdio de pintura, desenho e escultura; arquivo; biblioteca ; galeria de arte.</p> |
| | Serviços II - INTERFERENCIA AMBIENTAL DE NIVEL 1 | <p>Centro cultural; Centro esportivo; Clube; Conselho comunitário e associação de moradores; Creche, escola maternal, centro de cuidados e estabelecimento de ensino pré-escolar, curso profissionalizantes; Entidade de classe e sindical; Equipamentos administrativos; Estadual/Federal/Municipal; Equipamentos de segurança pública (Prédios e instalações vinculados ao corpo de bombeiros, Prédios e instalações vinculados ao sistema penitenciário e Prédios e instalações vinculados às polícias civil e militar); Escola especial ;Estabelecimentos de ensino formal (De 1º grau, De 2º grau e De 3º grau); Garagem comercial; Hotel; Instituição científica e tecnológica; Museu; Templo e local de culto em geral; Serviços de reparação e conservação (Reparação de artigos de madeira, do mobiliário (móveis, persianas, estofados, colchões, etc., Reparação de artigos diversos, jóias e relógios, instrumentos musicais, científicos, aparelhos de precisão, brinquedos e demais artigos não especificados, Reparação de instalações elétricas, hidráulicas e de gás e Reparação de máquinas e aparelhos elétricos ou não); Tinturaria e lavanderia sem caldeira; Academias; Estúdio fotográfico; Serviços de buffet; Ambulatórios; Pequeno ambulatório; Posto de atendimento médico; Barbearia, salão de beleza e massagista; Reparação de calçados e demais artigos de couro; Clínicas e policlínicas sem utilização de caldeiras; De repouso e geriatria (Médica, Odontológica, Banco de sangue); Confecção sob medida de artigos de vestuário; Consultórios (Médicos, Odontológicos, Posto de atendimento de urgência).</p> |

| | | |
|--------------------------|---|--|
| | <p>Serviços III - INTERFERÊNCIA AMBIENTAL DE NÍVEL 2</p> | <p>agência de guarda móveis; agência de locação de caminhões, máquinas e equipamentos; agência de locação de trailers e camionetas; agência de locação de veículos(automóveis, motocicletas e bicicletas); agência de sonorização; banco; hospitais; geral; de pronto socorro; psiquiátrico; funilaria; lavagem e lubrificação; pintura de placas e letreiros; reparação de artigos de borracha (pneus, câmara de ar e outros artigos); laboratório clínico; boliches, bilhares e bingos; cinema; empresa de táxi, locação e ônibus; estação de radiodifusão; estação de telefonia; estação de televisão; equipamentos veterinários; consultório veterinário; clínica, alojamento e hospital veterinário; financeira; jogos eletrônicos e land houses; serviço de ajardinamento; teatro; sauna, duchas e termas; clínicas e policlínicas com utilização de caldeiras; de repouso e geriatria; médica; odontológica; banco de sangue; tinturaria e lavanderia – com lavagem a seco; empresa de limpeza e vigilância.</p> |
| | <p>Serviços IV - INTERFERÊNCIA AMBIENTAL DE NÍVEL 3</p> | <p>casa noturna; motel; oficinas (de esmaltação, de galvanização, de niquelagem e cromagem, de reparação e manutenção de veículos automotores; de retificação de motores); serralheria; tornearia; chapeação e pintura; empresa de dedetização, desinfecção, aplicação de sinteco e pintura de móveis; empresas de mudança; serviços de construção civil, terraplanagem e escavações, pavimentação, estaqueamento, urbanização, demolições, fundações, estruturas e concreto, impermeabilização e demais serviços similares; transportadora; depósitos; estação de radiobase;</p> |
| <p>Indústrias</p> | <p>Indústrias I - BAIXA INTERFERÊNCIA POLUIDORA</p> | <p>Estabelecimento industrial com baixa potencialidade poluidora hídrica, atmosférica e quanto à geração de resíduos sólidos.</p> |
| | <p>Indústrias II - MÉDIA INTERFERÊNCIA POLUIDORA</p> | <p>Estabelecimento industrial com média potencialidade poluidora hídrica atmosférica e quanto à geração de resíduos sólidos.</p> |

| | | |
|--|---|--|
| | Indústria III - ALTA INTERFERÊNCIA POLUIDORA | Estabelecimento industrial com alta potencialidade poluidora hídrica atmosférica e quanto à geração de resíduos sólidos. |
| | ATIVIDADES ESPECIAIS | Cemitérios e crematórios; equipamentos especiais esportivos e de lazer, autódromos, hipódromos, estádios, parques, parques temáticos, circos e feiras, motocross e bicross; rodoviária, terminais de passageiros e carga; extração de minerais metálicos ou não e similares. |

Fonte: LEI 3.824, 2006.

Anexo 3: Precipitações que ocorreram nos dia que antecederam ao evento de
escorregamento do dia 10/10/2010.

**Dados pluviométricos (mm) das Estações do INMET no período de 01/01/2010 a
10/01/2010.**

| Dia do mês de janeiro | Estação Automática de Canela Altitude: 830 m Latitude: 29° 22'S Longitude: 50° 49'W | Estação Convencional de Caxias do Sul Altitude: 759,60 m Latitude: -29,16° Longitude: -51,2° | Estação Convencional de Porto Alegre Altitude: 49,97 m Latitude: -30,05° Longitude: -51,16° |
|-----------------------|--|--|---|
| 01 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 02 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 03 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 04 | 51,0 | 41,4 | 3,4 |
| 05 | 23,0 | 90,7 | 20,5 |
| 06 | 4,2 | 24,5 | 0,7 |
| 07 | 48,0 | 4 | 32,5 |
| 08 | 0,2 | 0,6 | 0,0 |
| 09 | 1,4 | 1,1 | 0,0 |
| 10 | 34,0 | 0,0 | 0,0 |
| Total | 161,8 | 162,3 | 57,1 |

Fonte: INMET, 2013.

Anexo 4: Dados pluviométricos de estações meteorológicas do INMET anteriores ao evento do dia 23/04/2011.

Dados pluviométricos (mm) das Estações do INMET no período de 01/04/2011 a 23/04/2011.

| Dia do mês de abril | Estação Automática de Canela | Estação Convencional de Caxias do Sul | Estação Convencional de Porto Alegre |
|---------------------|------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| | Altitude: 830 m | Altitude: 759,60 m | Altitude: 49,97 m |
| | Latitude: 29° 22'S | Latitude: -29,16° | Latitude: -30,05° |
| | Longitude: 50° 49'W | Longitude: -51,2° | Longitude: -51,16° |
| 01 | 5,2 | 0,2 | 0,3 |
| 02 | 4,0 | 0,1 | 2,3 |
| 03 | 0,2 | 3,5 | 0,0 |
| 04 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 05 | 2,6 | 9,2 | 3,9 |
| 06 | 0,0 | 0,0 | 0,7 |
| 07 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 08 | 2,2 | 0,0 | 0,0 |
| 09 | 0,6 | 3,5 | 12,5 |
| 10 | 6,8 | 0,0 | 0,2 |
| 11 | 0,2 | 10,7 | 0,0 |
| 12 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 13 | 0,0 | 0,1 | 0,0 |
| 14 | 39,4 | 1,6 | 10,3 |
| 15 | 0,0 | 36 | 37,6 |

| | | | |
|-------|-------|-------|-------|
| 16 | 12,2 | 0,0 | 4,4 |
| 17 | 7,2 | 1,4 | 4,4 |
| 18 | 2,2 | 8,9 | 7,0 |
| 19 | 0,6 | 0,7 | 0,0 |
| 20 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 21 | 11,6 | 13,6 | 6,6 |
| 22 | 4,0 | 0,0 | 0,0 |
| 23 | 69,0 | 63,2 | 77,2 |
| Total | 168,0 | 152,7 | 164,4 |

Fonte: INMET, 2013.

Anexo 5: Inventário de inundações e deslizamentos ocorridos em Igrejinha.

| Data | Descrição | Imagem |
|-----------------------------|--|--|
| 28 de junho de 1982 | Decretado estado de calamidade pública pelas cheias do Rio Paranhana inundando cerca de 80% do município |  |
| 12 de agosto de 1985 | Decretado estado de calamidade pública pelas cheias do Rio Paranhana inundando grande parte da zona urbana |  |

| | | |
|---|--|--|
| <p>23 de fevereiro de 1994</p> | <p>Decretado estado de emergência em virtude das fortes chuvas, causando alagamentos na cidade em função de transbordamento de arroios</p> |  |
| <p>15 de novembro de 2002</p> | <p>Decretado situação de emergência em virtude das fortes chuvas, causando alagamentos na cidade</p> |  |
| <p>26 e 27 de setembro de 2009</p> | <p>Decretado situação de emergência em virtude das fortes chuvas, causando alagamentos na cidade e estragos em vias públicas</p> |  |

| <p>10 de janeiro de 2010</p> | <p>Decretado situação de emergência em virtude das fortes chuvas, causando alagamentos em grande parte da cidade, danos no setor agrícola, danos em infra-estrutura da cidade, danos ao comércio e indústria</p> |  |
|--------------------------------------|--|---|
| <p>20 de julho de 2011</p> | <p>Decretado situação de emergência em virtude das fortes chuvas, ocasionando enxurradas em diversos bairros da cidade</p> |  |
| <p>Data</p> | <p>Descrição</p> | <p>Imagem</p> |
| <p>02 de dezembro de 1987</p> | <p>Decretado estado de calamidade pública também pelos deslizamentos de terra provocados por forte temporal, interrompendo o tráfego em várias estradas</p> | <p>Sem imagem</p> |

| | | |
|--------------------------------|---|--|
| 12 de fevereiro de 1992 | Decretado estado de emergência em virtude de forte tempestade, causando morte, destruição de propriedades rurais, deslizamento de terra | Sem imagem |
| Setembro de 2000 | Deslizamento de terra na Rua José Augusto Hetz Bairro Figueira | Sem imagem |
| 10 de janeiro de 2010 | Decretado situação de emergência em virtude das fortes chuvas, causando deslizamento de terra no Bairro Garibaldi |  |

| | | |
|---------------------------------------|--|--|
| <p>23 de abril de 2011</p> | <p>Decretado situação de emergência em virtude das fortes chuvas, causando deslizamento de terra na Rua Alzira Bischoff Bairro Saibreira</p> |  |
|---------------------------------------|--|--|