

**ELABORAÇÃO de CARTAS GEOTÉCNICAS
de APTIDÃO à URBANIZAÇÃO
FRENTE aos DESASTRES NATURAIS
no MUNICÍPIO de IGREJINHA, RS**

Relatório Final

**CEPED-RS / UFRGS
LAGEOtec, CEPSRM, LABGEO, CPGq, GRID**

**Termo de Cooperação entre Ministério das Cidades e UFRGS Governo
Federal - Brasil**

**ELABORAÇÃO de CARTAS GEOTÉCNICAS
de APTIDÃO à URBANIZAÇÃO
FRENTE aos DESASTRES NATURAIS
no MUNICÍPIO de IGREJINHA, RS**

Relatório Final

CEPED-RS / UFRGS

LAGEOtec, CEP SRM, LABGEO, GRID, CPGq

**Cooperação entre CEPED-RS/UFRGS e Diretoria de Assuntos
Fundários Urbanos e Prevenção de Riscos do Ministério das
Cidades – Governo Federal - Brasil**

 <p>CIDADES Ministério das Cidades</p>	 <p>CEPEDRS CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES</p>
 <p>CEPSRM CENTRO ESTADUAL DE PESQUISAS EM SENSORIAMENTO REMOTO E METEOROLOGIA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL</p>	 <p>CENTRO DE ESTUDOS EM PETROLOGIA E GEOQUÍMICA</p>
 <p>Lageo TEC</p>	 <p>LABGEO Laboratório de Geoprocessamento ecologia UFRGS</p>
 <p>GRID GESTÃO DE RISCOS DE DESASTRES</p>	

Coordenação geral

Luiz A. Bressani

Equipes de trabalho

- **Hidrologia e modelagem de cheias**
Laurindo Antonio Guasselli, Guilherme Garcia de Oliveira, Renata Pacheco Quevedo, João Paulo Brubacher
- **Levantamento geológico**
Norberto Dani, Nelson Amoretti Lisboa, Saulo Borsatto, Rafael da Rocha Ribeiro
- **Geotecnia e estabilidade de encostas**
Luiz A. Bressani, Eli A. Costa, Patricia A. Martins
- **Bases cartográficas e análise espacial**
Eliseu J. Weber, Heinrich Hasenack, Rafael da Rocha Ribeiro, Norberto Dani, Pedro Frediani Jardim, Luana de Lima Silva, Felipe Fick, Alice Seben Campana, Tamires Valençoella Garcia
- **Diretrizes de ocupação e aspectos urbanísticos**
Eloisa M. A. Giazzon, Luiz A. Bressani, Patrick Fontes, Gabriel Zardo Oliva
- **Gestão do trabalho e do processo participativo (gestores municipais, pesquisadores e comunidade)**
Joclei T. Bresolin, Luiz A. Bressani, Eloisa M. A. Giazzon, Cristiane Pauletti

Agradecimentos

Celso Santos Carvalho, Min Cidades
Paula Regina Cabral, Assessora, Min Cidades
Suzete Morem Fraga, Gabinete Reitor, UFRGS
Joel Leandro Wilhem, Prefeito Municipal de Igrejinha
Alessandra Regina Azambuja, Defesa Civil, PM Igrejinha
Ani Wilhelms, Arquiteta, PM Igrejinha
José Mauro Denardin, Geól.

Ficha Catalográfica

E37 Elaboração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais no município de Igrejinha, RS : relatório final / Centro de Pesquisas e Estudos sobre Desastres no Rio Grande do Sul ; coordenação geral Luiz A. Bressani. – Porto Alegre : UFRGS, CEPED-RS, 2014.

1 v. (várias paginações) : il. color. ; 30 cm.

1. Desastres naturais – Relatórios. 2. Deslizamento de terras.
3. Inundações. 4. Movimentos de massa. 5. Igrejinha (RS). 6. Carta geotécnica.
I. Bressani, Luiz Antonio, coord. II. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Centro de Pesquisas e Estudos sobre Desastres.

CDU: 502.8

ELABORAÇÃO de CARTAS GEOTÉCNICAS de APTIDÃO à URBANIZAÇÃO FRENTE aos DESASTRES NATURAIS no MUNICÍPIO de IGREJINHA, RS

RESUMO

Este relatório apresenta a versão final consolidada com a descrição das diversas etapas dos trabalhos desenvolvidos para a produção das Cartas Geotécnicas de Igrejinha , a partir de Mapas de Suscetibilidade a Inundação e Escorregamentos de Terra.

As razões da escolha do município de Igrejinha se devem ao número de ocorrências de inundações nos últimos anos e a alguns escorregamentos rápidos de terra que causaram prejuízos e vítimas fatais (Azambuja, 2011 – Diagnóstico de Defesa Civil do município de Igrejinha).

O relatório apresenta um texto principal resumido, que descreve as diversas etapas dos trabalhos, tendo como ponto de referência os relatórios-base apresentados nos Anexos, os quais descrevem de forma pormenorizada os trabalhos técnicos realizados.

A partir dos mapas cartográficos e análises de geologia, hidrologia e geotecnia realizados durante este projeto, foram gerados mapas de Suscetibilidade a Inundações e a Movimentos de Massa.

Com base nestes mapas foram produzidas Cartas Geotécnicas de Aptidão à Urbanização nas escalas 1:50.000 de todo o município, 1:25.000 da área mais central e 1:2.000 a partir do aerolevanteamento da área urbana de 1989.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Histórico de eventos e a Lei 12.608/2012

Em função de um histórico de eventos de inundações e escorregamentos, com vítimas, o município de Igrejinha/RS está listado no Cadastro Nacional de Municípios com áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos.

Segundo a Lei Federal 12.340/2010 (alterada pela Lei 12.608/2012), os municípios incluídos neste cadastro nacional deverão elaborar carta geotécnica de aptidão à urbanização, estabelecendo diretrizes urbanísticas voltadas para a segurança dos novos parcelamentos do solo. Tendo em vista esta Lei, o Ministério das Cidades resolveu incentivar um projeto de aplicação de metodologia de realização de Carta Geotécnica no município, através de Termo de Cooperação com o CEPED-RS / UFRGS.

O Plano Diretor dos municípios incluídos neste cadastro nacional, além de outras exigências, deverá conter: parâmetros de parcelamento, uso e ocupação do solo, de modo a promover a diversidade de usos; mapeamento contendo as áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos.

1.2. O município de Igrejinha

O território municipal de Igrejinha apresenta grande variação altimétrica, desde a cota 20 metros no vale do Rio Paranhana, que corta sua área urbana, a 770 metros na área rural.

O núcleo urbano se originou à beira do rio Paranhana e se desenvolveu ao longo de toda sua extensão nos limites municipais, e em áreas com declividades acentuadas. Grande parte da área urbana situa-se no fundo do vale que drena uma ampla região a montante e, por isto, está sujeita a inundações do rio, enxurradas de cursos de água de menor porte (arrosios Koetz e Solitária) e movimentos de massa.

O objeto deste Projeto é a definição de áreas com aptidão à urbanização expressada pelas cartas geotécnicas de inundação e de movimentos de massa, além da

indicação de diretrizes para o uso e ocupação do solo para novos parcelamentos. No entanto, ao analisar as questões urbanas presentes em Igrejinha, nos deparamos com uma parte significativa do espaço urbano consolidado inserida na área de abrangência dos movimentos de massa e, principalmente, das inundações.

Diante desta realidade, parte do trabalho foi direcionado para propor recomendações para a gestão pública objetivando minimizar o impacto dos desastres naturais nas áreas ocupadas já existentes.

2. DADOS DO MUNICÍPIO E EVOLUÇÃO URBANA

Alguns dos materiais cartográficos básicos que foram coletados em trabalhos junto da Prefeitura Municipal de Igrejinha e outros órgãos de pesquisa ou de suporte (CPRM, Cartas do Exército), e algumas das cartas intermediárias (preliminares) que estão sendo produzidas para a definição das cartas de suscetibilidade e aptidão à urbanização a nível de planejamento municipal (1:25.000) e a nível de projeto de loteamentos (1:10.000).

A criação do Município de Igrejinha ocorreu em 1º de junho de 1964, quando se emancipou do município de Taquara. Localiza-se na parte leste do Estado do Rio Grande do Sul, a uma distância de 85 Km da capital, Porto Alegre. Tem como limite os municípios de Nova Hartz, Santa Maria do Herval, Três Coroas, Taquara e Parobé. Integra, desde 2011, a Região Metropolitana de Porto Alegre (Figura 1). Sua área é de 136,8 km².

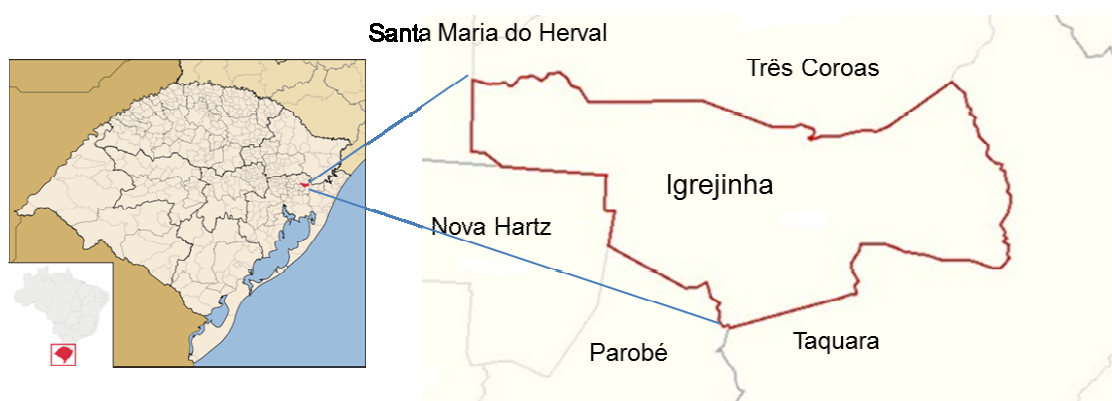


Figura 1: Localização do município de Igrejinha no Estado do Rio Grande do Sul. Fonte: adaptado de IBGE.

A população total de Igrejinha, em 2010, era de 31.660 habitantes, 30.190 habitantes viviam na área urbana e 1.470 habitantes na área rural. O aumento

populacional no período 2000-2010 foi de 18,28%. Neste período, o crescimento da população do Estado do Rio grande do Sul foi de 5,03%, significativamente inferior em relação ao município de Igrejinha.

O aumento do número de domicílios particulares permanentes em Igrejinha também teve aumento significativo expressivo desde a década de 1970 (Figura 2).

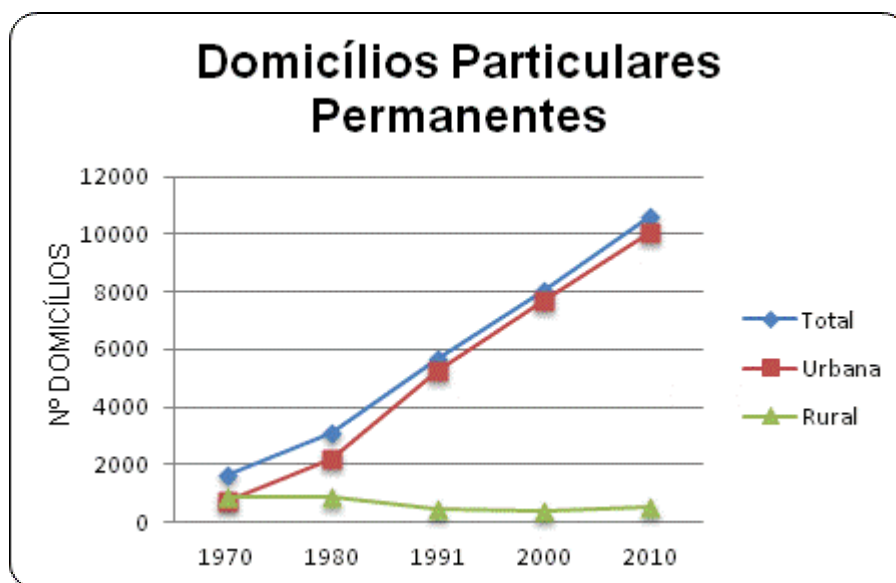


Figura 2: Evolução dos Domicílios Particulares Permanentes (DPP) em Igrejinha/RS.

O desenvolvimento urbano de Igrejinha ocorre a partir da ocupação das margens do Rio Paranhana e se estende ao longo de sua planície, posteriormente atingindo, a leste e a oeste, porções de seu território caracterizadas por maiores declividades. A Figura 3 apresenta o território municipal, destacando-se o núcleo urbano inicial e o centro da cidade. Pode-se ver a mancha urbana ao longo da planície do Rio Paranhana – eixo ao longo do qual a cidade se desenvolve, e seu avanço em direção às zonas de encostas.

Em 1968, quatro anos após a emancipação do município, Igrejinha teve definido seu primeiro perímetro urbano, abrangendo a área de entorno do núcleo inicial. Logo após, em 1970, a área urbana sofreu significativa ampliação, passando a incorporar uma grande extensão de terras às margens do Rio Paranhana e também em áreas com declividade acentuada. O perímetro urbano de 1985 estendeu ainda mais a cidade a leste, em direção à RS-20, e também a Noroeste, ampliando-a em áreas de maiores altitudes e declividades. O perímetro urbano atual, determinado em 2006 pelo Plano Diretor de

Desenvolvimento Urbano, Rural e Ambiental, amplia novamente a área urbana, agora em todas as direções.

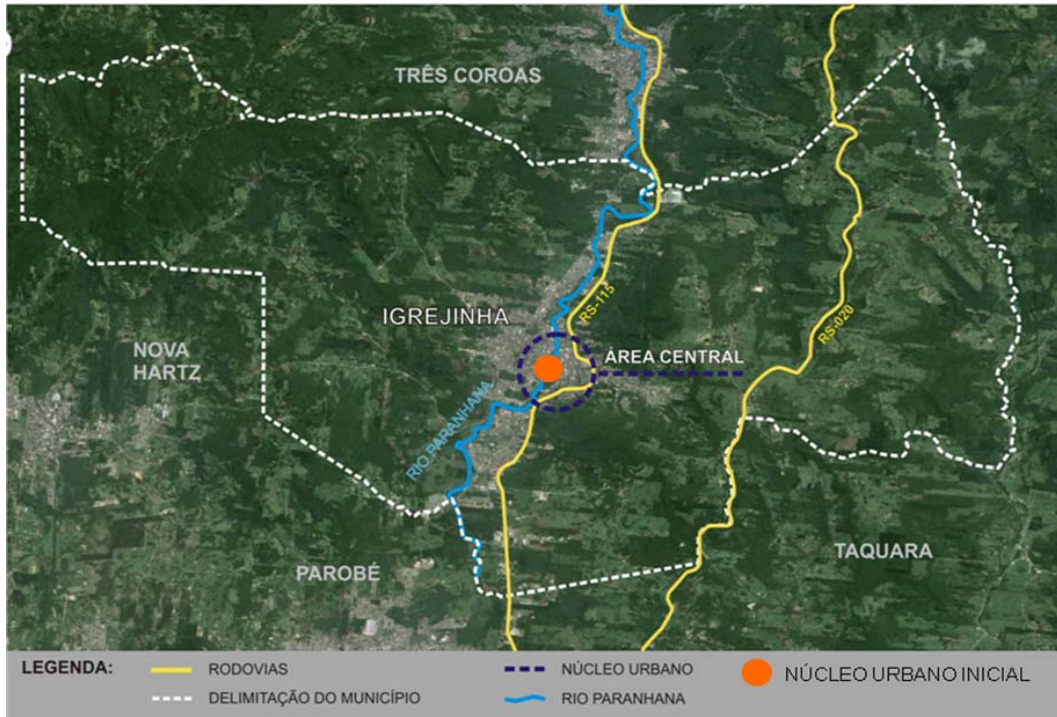


Figura 3: Território municipal, núcleo urbano inicial e mancha urbana de Igrejinha/RS
Fonte: Adaptado de Google Earth.

O progressivo aumento territorial urbano de Igrejinha mostra-se desproporcional ao crescimento populacional e ao uso e ocupação do solo efetivado nas últimas décadas. Glebas incorporadas ao perímetro urbano de 1970 ainda encontram-se vazias, passados mais de 40 anos. Os perímetros urbanos de 1985 e 2006 e sua evolução comparada aos aspectos territoriais – proximidade do rio e encostas, pode ser visto na Figura 4 (mais detalhes no Anexo).

Na expansão urbana na região leste se constituíram os Bairros Saibreira e Viaduto, ambos com presença de encostas íngremes e ocorrências de movimentos de massa afetando moradias e causando perda de vidas. Do lado oeste, em terrenos próximos às encostas também há locais afetados por deslizamentos de terra.

Infelizmente, grande parte da área urbana localiza-se em cotas baixas sobre a planície de inundação do Rio Paranhana, como pode ser observado pelo mapa produzido pela Prefeitura Municipal com base nas cotas de inundação de 1982 (ver Anexo 5).

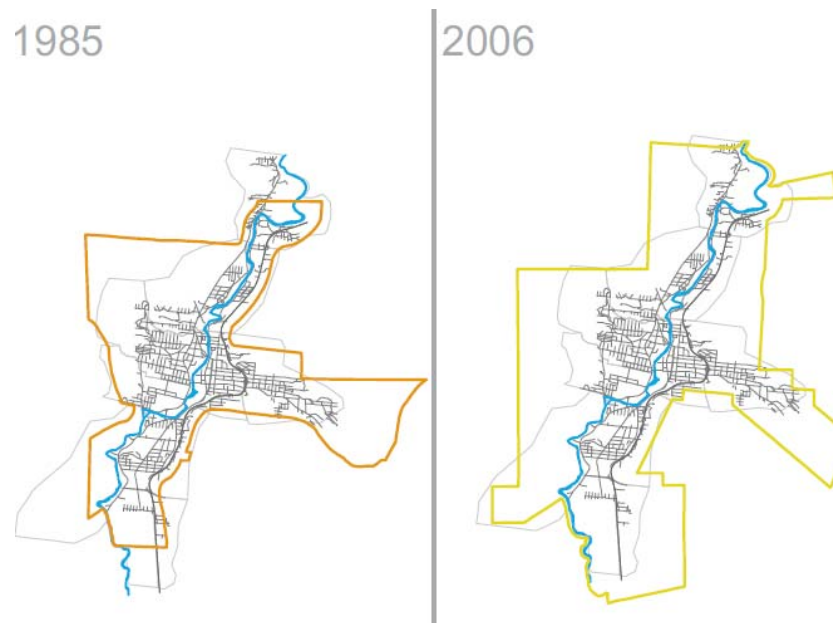


Figura 4: Evolução do perímetro urbano: 1985 e 2006
Dados: Prefeitura de Igrejinha

A Lei Municipal Nº 3.824, de 27 de outubro de 2006, reestrutura o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano, Rural e Ambiental do Município de Igrejinha (PDDURA) e criou um novo zoneamento da cidade (Figura 5).

Cabe ressaltar que a Lei Municipal Nº 3.575, de 30 de agosto de 2004, incluía dispositivo na Lei de Parcelamento do Solo vigente à época (Lei Municipal Nº 1.832/1993) com o seguinte teor: “Proíbe-se a implantação de novos loteamentos na região que forma a bacia hidrográfica do arroio Koetz até que seja resolvido o problema de alagamentos deste curso d’água” (§ Único, Art. 1º). Esta Lei foi revogada em 2006.

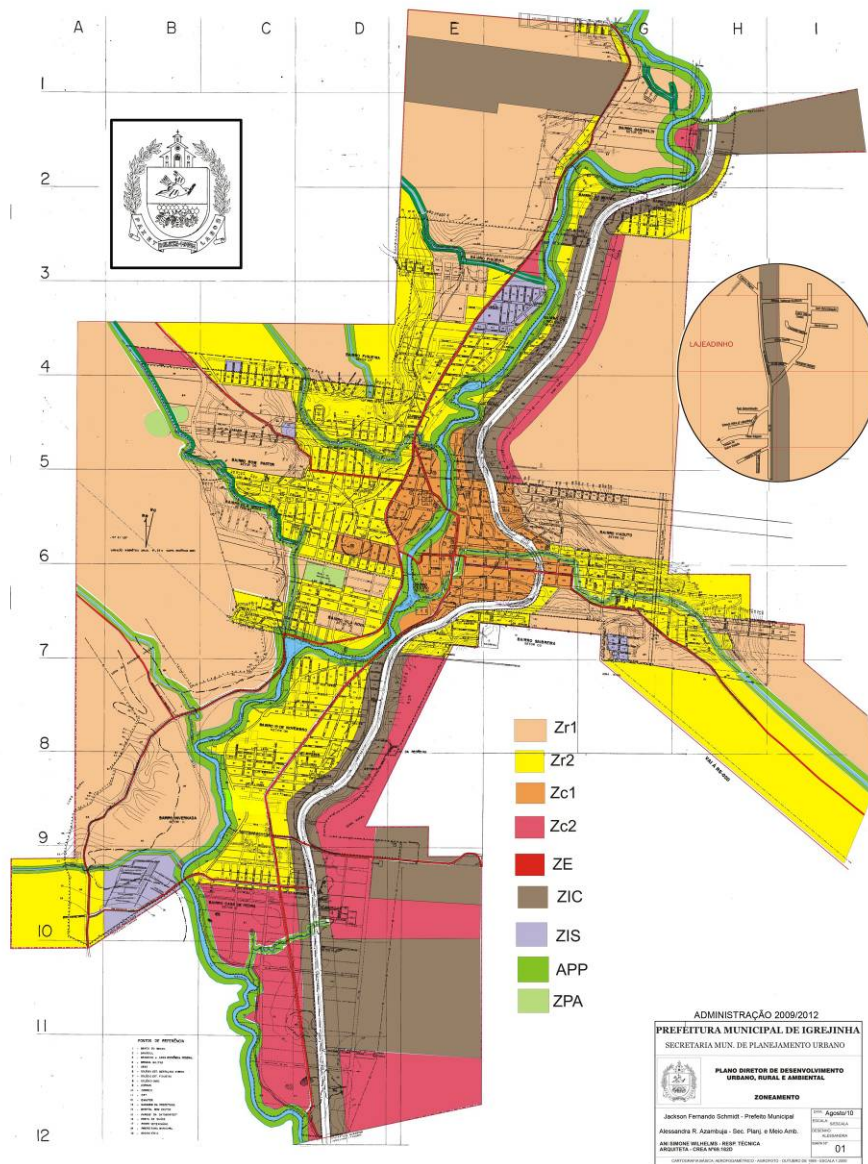


Figura 5 - Zoneamento Urbano – PDDURA de Igrejinha/RS. Fonte: Prefeitura de Igrejinha

Duas questões importantes estão presentes na dinâmica urbana de Igrejinha: a significativa produção recente de lotes regulares que se distribuem por todo o território; e a quantidade expressiva de novas edificações. Vários loteamentos estão localizados em áreas sujeitas a inundações ou que apresentam declividades acentuadas, o que também ocorria com os parcelamentos implantados em décadas passadas. Não há restrições à implantação dos parcelamentos nas áreas inundáveis ou sujeitas a movimentos de massa, como demonstra o Plano Diretor vigente. A Figura 6 mostra a distribuição espacial destes loteamentos.

No que refere às novas edificações, estudo realizado por pesquisadores do projeto (ver Anexo 4), identificou 759 novas construções em áreas inundáveis em evento de chuva com tempo de recorrência de 50 anos, entre os anos de 2005 e 2010 em Igrejinha. 88% das edificações têm uso residencial, sendo que 39,1% das novas habitações apresentam alta vulnerabilidade às inundações.

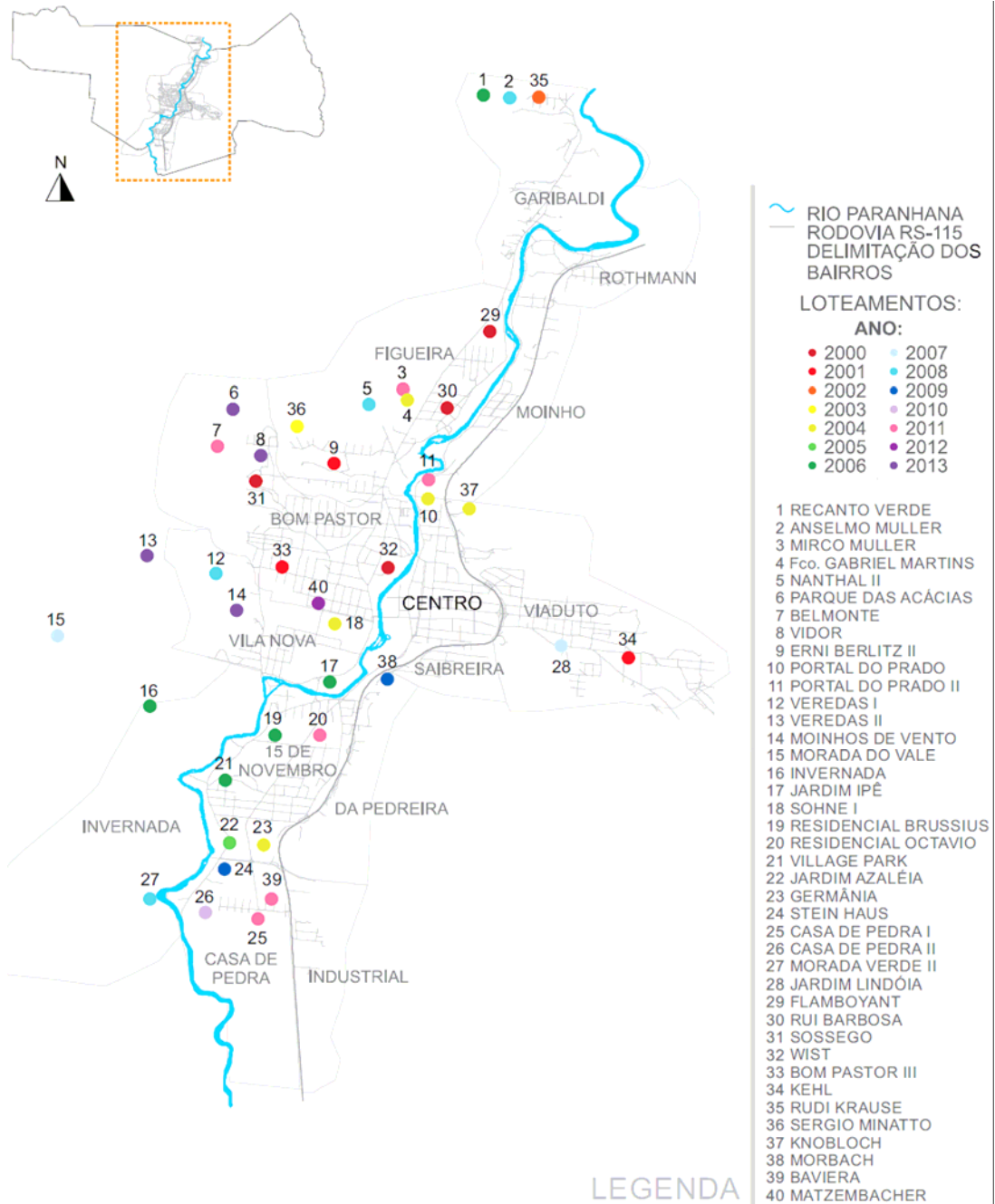


Figura 6: Localização dos loteamentos regulares a partir do ano 2000. Dados: Prefeitura de Igrejinha

3. HISTÓRICO DE ACIDENTES E DESASTRES

No decorrer de sua história, o município de Igrejinha sofreu inundações de pequenas e grandes proporções. Geralmente a área central da cidade fica inundada pelo rio Paranhana, mas há também registros de inundações pelos arroios que descem dos vales laterais, sendo o arroio Koetz o que tem um maior histórico de ocorrências.

A inundação de 1982 foi a maior, provocando destruição tanto na área central como nos bairros (Figura 7), mas há registros de inundações da área central nos últimos



anos novamente em 1985 e em 2010.

Figura 7 – Foto da área central da cidade afetada pela inundação do rio Paranhana em 1982.

Além de um reconhecido problema com inundações na área central da cidade, Igrejinha apresenta também um histórico de acidentes com escorregamentos de terra, incluindo vítimas fatais. Os escorregamentos mais recentes que ocorreram no município causaram um grande impacto na população, já que não havia entre a população uma conscientização do grau de perigo associado a estes eventos. A Figura 8 mostra o cenário pós-ruptura do escorregamento que ocorreu na no bairro Saibreira em 23 de abril de 2011, com 7 vítimas fatais.



Figura 8 – Escorregamento de 23-04-2011 com 7 vítimas fatais.

4. MODELAGEM HIDROLÓGICA DO MUNICÍPIO

A partir do conhecimento do histórico de inundações do município, a equipe responsável pela determinação das áreas suscetíveis às inundações desenvolveu um trabalho de modelagem hidrológica para espacialização das inundações (Anexo 1).

O objetivo do presente estudo foi a modelagem hidrológica aplicada a eventos extremos de precipitação para espacializar as áreas suscetíveis às inundações do rio Paranhana, no município de Igrejinha, RS, em diferentes tempos de retorno (TRs).

O rio Paranhana é um dos principais afluentes do rio dos Sinos e tem as suas nascentes nos municípios de Gramado e Canela. A bacia do rio Paranhana possui uma área de 577,22 km² (Brubacher et al., 2011).

De modo simplificado, este trabalho compreendeu sete etapas:

- i) geração das chuvas de projeto com base em uma equação do tipo i-d-f (intensidade, duração, frequência);
- ii) extração de variáveis morfométricas e cálculo de parâmetros para a modelagem hidrológica;

- iii) aplicação do modelo chuva-vazão da Soil Conservation Service (SCS, 1975), nas sub-bacias que compõem a áreas de abrangência;
- iv) aplicação do modelo Muskingum-Cunge para a propagação de vazões nos principais rios;
- v) simulação hidrológica de eventos extremos com recorrência (TR) de 10, 50 e 100 anos, através da conjugação dos dois tipos de modelos utilizados;
- vi) estimativa da cota atingida em diversas seções transversais do rio Paranhana com base na resposta hidrológica obtida através das simulações e nos perfis topográficos oriundos de dados altimétricos;
- vii) espacialização das áreas suscetíveis às inundações para cada TR.

Com base em uma série temporal de dados de precipitação, entre 1940 e 2001, Brubacher et al. (2012) descrevem que, na bacia hidrográfica do rio dos Sinos, as precipitações são relativamente bem distribuídas ao longo do ano, com um valor médio anual 1.587 mm. A sub-bacia do rio Paranhana é a região mais chuvosa da bacia do rio dos Sinos, com o valor médio um pouco superior em relação ao restante da bacia, chegando a 1.650 mm. Ao longo do ano, o período de junho a outubro é o mais chuvoso, sendo no mês de setembro que acontece a maior média de chuvas (média de 166 mm). Entre os meses de outubro a março, chove menos, mas as chuvas são de ocorrências mais localizadas e torrenciais, acumulando uma grande quantidade de chuva em pouco tempo. Normalmente esse período está associado a enxurradas e a deslizamentos de encostas como, por exemplo, nos municípios de Igrejinha, Três Coroas e Rolante.

A primeira etapa consistiu na geração de hietogramas de projeto associados a TRs de 5 a 100 anos, a partir de uma equação do tipo i-d-f (intensidade-duração-frequência). De acordo com Bertoni e Tucci (2007), o hietograma de projeto consiste em uma sequência de precipitações que desencadeia em uma cheia de projeto.

Os dados de precipitação utilizados nesse trabalho foram obtidos a partir da metodologia utilizada por Brubacher et al. (2012) e Oliveira et al. (2012), a qual consistiu em interpolar espacialmente as chuvas diárias de todas as estações pluviométricas disponíveis em uma raio de 100 km da bacia, totalizando 84 postos pluviométricos (Anexo 1). Com estes dados, foram obtidos os hietogramas de projeto (ver Anexo 1).

A segunda etapa compreendeu a representação da bacia hidrográfica do rio Paranhana para a modelagem hidrológica e definição dos parâmetros de entrada dos modelos. A bacia do rio Paranhana foi subdivida em sub-bacias e o rio principal (rio Paranhana) foi fracionado em segmentos de drenagem menores. A área de estudo foi dividida em 32 sub-bacias, sendo 13 de montante e 19 de contribuição.

Uma vez delimitadas as sub-bacias e os segmentos de drenagem, foram estimados os parâmetros físicos destas feições. No módulo de sub-bacias, o modelo chuva-vazão utilizado foi o SCS. Este modelo necessita dos seguintes parâmetros para a simulação: área de drenagem (A); comprimento do rio principal (L); desnível altimétrico (H); tempo de concentração (t_c); *Curve Number* (CN), obtidos das bases disponíveis (SRTM-TOPODATA). Já no módulo dos segmentos de drenagem foram estimados os parâmetros necessários ao modelo Muskingum-Cunge.

A terceira etapa consistiu na modelagem hidrológica das sub-bacias. O modelo do tipo chuva-vazão utilizado foi o SCS, apresentado pelo *Soil Conservation Service* (SCS, 1975). O modelo SCS realiza a transformação da chuva em vazão na saída das sub-bacias, com base em uma equação empírica que calcula as perdas por evapotranspiração e por infiltração, utilizando um parâmetro (CN) definido pelo uso e cobertura do solo. A propagação superficial do volume gerado pela separação do escoamento é realizada através de um hidrograma unitário sintético triangular.

Neste estudo, foram simulados apenas eventos extremos de precipitação com TRs de 10, 50 e 100 anos. A simulação hidrológica foi realizada no software IPHS1, no qual foi inserida a representação das sub-bacias e dos segmentos de rio e os parâmetros de entrada dos dois modelos hidrológicos utilizados.

Uma vez obtidos os valores de vazão (Q) e de velocidade de escoamento (v), em função do tempo (t), é possível calcular a área da seção transversal "molhada" (A_s). Sabendo-se a área molhada da seção transversal, a cota atingida (C) pode ser obtida através do perfil das seções transversais. Para cada trecho de rio foi gerado um perfil transversal com base nas informações altimétricas da Prefeitura de Igrejinha (equidistância vertical das curvas de 1 metro) e da missão SRTM (apenas em locais sem dados de alta resolução espacial).

Uma vez conhecida a cota atingida em cada um dos 19 trechos de rio modelados, fez-se uma interpolação espacial entre os pontos com cotas conhecidas. Assim, foi possível delimitar de modo contínuo as áreas de inundação nos eventos extremos de precipitação, com TRs de 10, 50 e 100 anos.

Foi definido o seguinte critério para a classificação de suscetibilidade:

- i) as áreas atingidas com recorrência de 10 anos apresentam alta suscetibilidade às inundações;
- ii) as áreas atingidas por inundações com TR entre 10 e 50 anos apresentam média suscetibilidade às inundações;
- iii) as áreas atingidas por inundações com recorrência maior do que 50 anos apresentam baixa suscetibilidade (ou muito pequena, nos casos acima de 100 anos).

Os dados referentes a chuvas de projeto estão descritos no Anexo 1 (hietogramas com TRs de 10, 50 e 100 anos). A Figura 9 apresenta as áreas suscetíveis às inundações do rio Paranhana, em Igrejinha, e seus principais afluentes com recorrência entre 10 e 100 anos.

Ao examinar a Figura 9 observa-se que há pouca diferença entre as manchas de inundação referentes aos TRs de 10 e de 100 anos. Isto se deve às características morfométricas do vale do rio Paranhana, que apresenta vales bastante encaixados. A precipitação com recorrência de 10 anos já provoca uma cheia com magnitude suficiente para que as águas atinjam os limites da planície de inundação. Assim, mesmo aumentando a vazão de pico em um cenário de chuva mais crítica (TR de 100 anos), a área inundada não se eleva consideravelmente: para um evento de precipitação com TR de 10 anos, a área do município de Igrejinha atingida pelas cheias é de 1.010 hectares; com TR de 100 anos, esta área cresce para 1.105 hectares, um aumento de 9,5% na mancha de inundação.

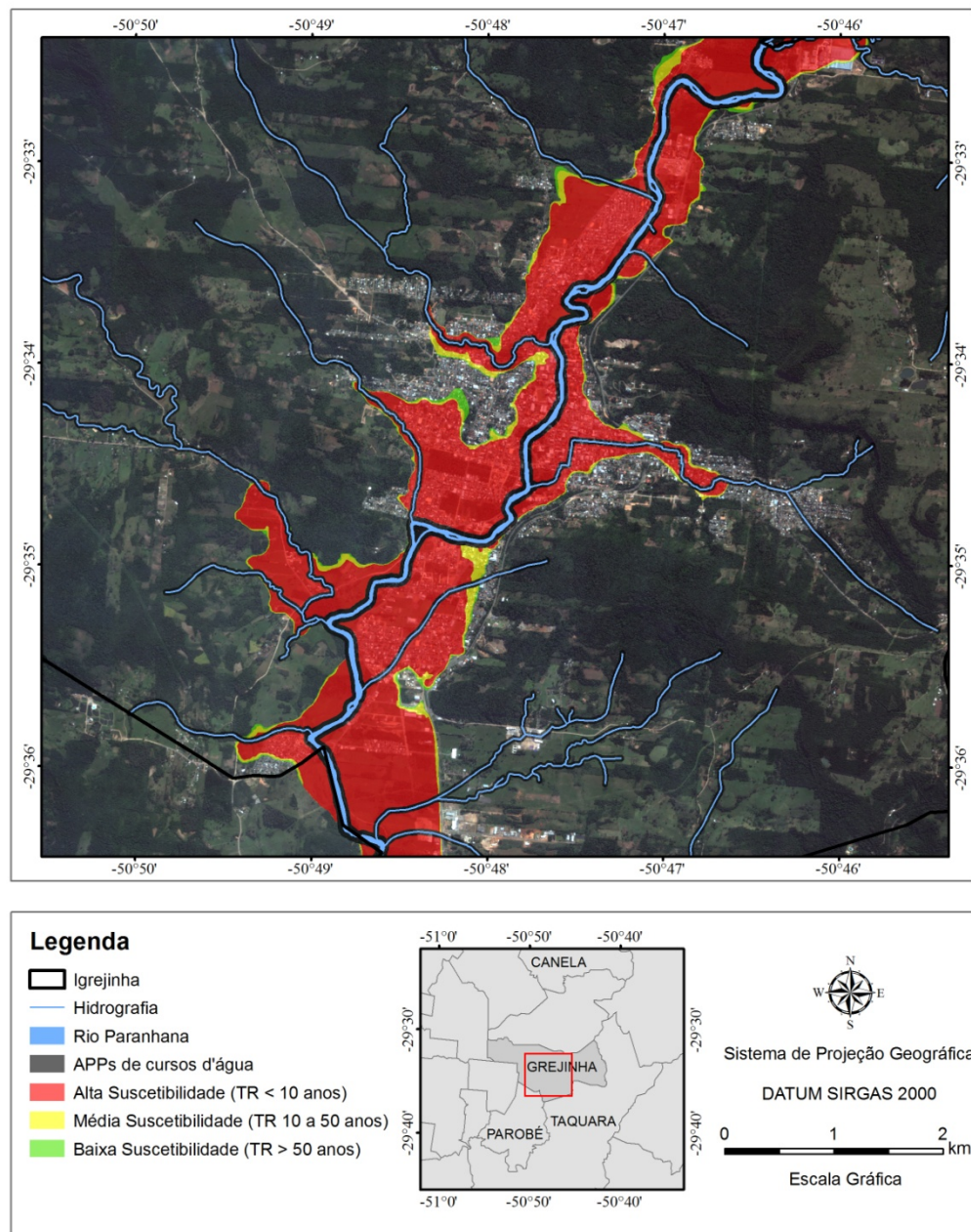


Figura 9 - Espacialização das áreas suscetíveis às inundações em Igrejinha, RS, no vale do rio Paranahana.

Na porção central de Igrejinha, o pico do escoamento superficial no evento com TR de 100 anos ocorre cerca de 20 minutos após o término da precipitação, com valores que atingem 2.090 m³/s.

Na foz do arroio Koetz, o pico do escoamento superficial nos três eventos extremos de precipitação simulados acontece quase simultaneamente ao pico das chuvas, por se tratar de uma sub-bacia de baixo tempo de concentração (pequena área e grande

desnível altimétrico). O pico do escoamento superficial atinge, considerando os TRs de 10, 50 e 100 anos, aproximadamente 80 m³/s, 123 m³/s e 149 m³/s.

Na foz do arroio Solitária, o pico do escoamento superficial nos três eventos extremos de precipitação simulados acontece pouco mais de 30 minutos após o pico da precipitação. O pico do escoamento superficial, considerando os TRs de 10, 50 e 100 anos, foi de 186 m³/s, 289 m³/s e 347 m³/s, respectivamente.

Tabela 1 - Classes de suscetibilidade do terreno a processos de inundações.

CLASSE	Tipos	CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES	PROCESSOS GEODINÂMICOS
Alta Suscetibilidade	I	Áreas sujeitas a inundações do rio Paranhana com períodos de recorrência menores do que 10 anos (planície de inundação).	Elevada probabilidade de atingimento por inundações e erosão fluvial de margens.
Média Suscetibilidade	II	Áreas de inundação com depósitos de sedimentos quaternários e seixos, sujeitas a inundações com tempos de recorrência na faixa de 10 e 50 anos (^{&}).	Áreas com risco à inundação considerado tolerável em função do tipo de uso.
Baixa Suscetibilidade	III	Áreas não sujeitas aos processos anteriores ou com tempos de recorrência maiores do que 50 anos.	Áreas fora das zonas de inundação ou com risco de inundação considerados aceitáveis.

Obs.: ([&]) – no caso de Igrejinha os limites em planta são difíceis de diferenciar, sendo o fator mais importante a altura de água durante as inundações nos locais. Nas escalas menores, fica difícil a diferenciação destas classes em mapas.

5. LEVANTAMENTO GEOLÓGICO BÁSICO E ENSAIOS GEOTÉCNICOS

O trabalho de investigação geológica compreendeu o levantamento bibliográfico dos materiais disponíveis da região, a avaliação de mapas geológicos e cartas topográficas, aquisição de produtos de sensoriamento remoto (fotografias aéreas e imagens orbitais) seguidas de atividades de campo e de laboratório. No Anexo 2 está descrito em detalhes os procedimentos de foto-interpretação e outras técnicas utilizadas.

Os trabalhos de mapeamento identificaram 3 Formações na região: Formação Pirambóia, Formação Botucatu e Formação Serra Geral. Localmente foram encontrados também depósitos alúvio-coluvionares.

5.1 Formação Botucatu

Com espessuras médias de 70 metros, os pacotes sedimentares da Formação Botucatu afloram de forma contínua na área do município de Igrejinha, principalmente nas bases das escarpas do vale em que ele se encontra. As principais estruturas descritas foram as estratificações tangenciais e cruzadas acanaladas de grande a médio porte, sendo raros as plano-paralelas. O contato inferior da Formação Botucatu se dá com a Formação Pirambóia, não ocorrendo na área do município de Igrejinha. O seu contato superior com os basaltos da Formação Serra Geral é discordante. Nas partes mais elevadas os arenitos tornam-se mais silicificados, endurecidos e com menor porosidade. De forma menos frequente são encontrados arenitos intertrápicos, não muito espessos, nos derrames de basalto.

5.2 Formação Serra Geral

Foram identificadas rochas vulcânicas básicas (Fácies Gramado) e lavas ácidas (Fácies Caxias), com predomínio das primeiras, localizadas na região de escarpas. As lavas ácidas são restritas a uma pequena porção no extremo noroeste do município, na parte mais elevada da sequência onde as cotas chegam a 770 metros.

5.2.1 Derrames vulcânicos do Fácies Gramado ocorrem na base da Formação Serra Geral, com espessura média de até 450 metros. Os primeiros derrames estão sobrepostos diretamente acima das rochas sedimentares da Formação Botucatu.

5.2.2 As lavas basálticas que afloram na porção central do município ao longo do vale do Rio Paranhana, possuem características peculiares que permitiram a sua subdivisão em dois níveis distintos, Basaltos I e Basaltos II (importante sub-divisão, ver Anexo 2 para detalhes).

5.2.2.1 O basalto 1 tem características de grande variabilidade e possui grande suscetibilidade à alteração, gerando solos espessos, de textura argilosa e coloração arroxeada (Figura 10).

5.2.2.2 O basalto 2 tem características diferenciadas. O segundo nível de derrames (Basaltos II) apresenta-se normalmente pouco alterado e com disjunções colunares

bem desenvolvidas (Figura 11). São predominantes nas áreas acima dos 250 metros de altitude. A textura da lava varia de afanítica a porfírica fina com microfenocristais e com cor preta a cinza escura.



Figura 10 – Basalto 1 - detalhe de uma amígdala preenchida por zeólita.

5.3 Depósitos recentes

Em grande parte do município de Igrejinha as unidades acima encontram-se recobertas por sedimentos ou materiais transportados por agentes de transporte gravitacionais (colúvios) ou fluviais (aluviões). Os depósitos colúviais se deslocam continuamente para as cotas mais baixas do terreno, sendo que a acumulação final localiza-se nas bases das encostas e dos vales. Estes depósitos encontram-se, preferencialmente, nas quebras de relevo formadas no contato de derrames e nos sopés e superfícies dos morros (Figura 12).

Em relação aos ensaios geotécnicos para avaliar os materiais, foram inspecionados os diversos materiais. Tendo em vista a importância do solo derivado do Basalto 1, pela sua abrangência na região e posição altimétrica próxima das áreas mais ocupadas, e o fato de



que algumas das rupturas encontradas foram neste material, foram realizados ensaios de caracterização básica em amostras de solo coletados junto à ruptura do bairro Saibreira.

Figura 11 - Derrame de lava basáltica da Formação Serra Geral do Fácies Gramado com nível de disjunções colunares.

Os resultados demonstraram que o material tem uma grande fragilidade mecânica ao manuseio manual, e apresenta uma grande redução de resistência ao cisalhamento quando se comparam os resultados de ensaios no cisalhamento direto e no ring-shear (redução do ângulo de atrito de 34° para $16,5^\circ$ - ver Anexo 3). Este fato é de grande importância para o entendimento de algumas das situações encontradas em campo, entretanto não podem ser generalizadas em virtude da variabilidade deste material em campo.

O arenito Botucatu apresentou diversas situações de ruptura com características de deslizamento rápido de solo raso sobre o arenito pouco alterado. O processo de ruptura deu-se por ruptura frágil em condições de saturação (chuvas intensas) e o material tem comportamento de areia média a fina (análise tátil-visual). Os materiais clivionares apresentam uma matriz fina cuja distribuição granulométrica depende do material fonte (arenito ou basaltos). Os colúvios sempre apresentam uma grande porção de blocos irregulares imersos na massa. O comportamento dos colúvios é muito dependente das condições de geometria e, principalmente, das condições de água

subterrânea. Os estudos realizados anteriormente pela equipe em outros locais (Três Coroas, p. exemplo) mostraram que as análises são dependentes de fatores locais e precisam ser feitas com caráter específico.



Figura 12 – Depósito de colúvios no sopé de encosta (bairro Viaduto).

6 CARTOGRAFIA e GERAÇÃO DE MDT NAS ESCALAS 1:25.000 e 1:2.000

Neste item são descritos os mapas básicos utilizados, seus parâmetros e os trabalhos para geração das bases cartográficas utilizadas.

Na construção do modelo digital do terreno (MDT) do município de Igrejinha na escala 1:25.000, utilizamos um par de imagens do satélite japonês ALOS. Este satélite possui um sensor chamado de PRISM (Panchromatic Remote-sensing instrumento of Stereo Mapping), e suas imagens abrangem o comprimento de onda entre 0,52 e 0,77 μm , sua resolução radiométrica é de 8 bits e a resolução espacial é de 2,5 m. Ele pode obter simultaneamente imagens com visadas na nadir, inclinada para frente (forward) e inclinada para trás (backward). Por questões econômicas utilizamos somente as imagens com visadas no nadir e no backward, visto que cada uma das imagens é comercializada

individualmente. Estas imagens foram adquiridas com recursos de outro financiamento público (CNPq).

No total foram adquiridos 24 pontos de controle no terreno, com o método de posicionamento relativo estático. Os pontos de controle foram determinados através do sistema GNSS (Global Navigation Satellite Systems), com o emprego de dois receptores GPS Pro Mark 500/RTK, utilizamos uma base local do IBGE localizada no município de Igrejinha (no 93818). A distribuição dos pontos foi determinada pela abrangência geográfica na cena e pela representatividade das diferentes cotas altimétricas contidas na mesma.

A correção geométrica das imagens e a geração do MDT foi realizada no software LPS com o módulo Automatic Terrain Extraction (ATE). Os pontos de controle, assim como os tie points (pontos de ligação) foram identificados e posicionados de forma manual em cada uma das imagens. O processo de correspondência para determinação dos pontos homólogos foi realizado pelo coeficiente de correlação como medida de similaridade entre as imagens. Determinados os pontos correspondentes, as coordenadas são calculadas por interseção espacial (Oliveira e outros, 2013). O MDT foi gerado na estrutura de TIN (triangular irregular network) com resolução de 10 m. Após a geração do MDT, procedemos ao trabalho de edição, que foi realizado manualmente sobre as áreas anômalas do modelo. Os resíduos dos pontos de controle e nos tie points, foram menores do que 1 pixel.

Para avaliar a qualidade dos MDT comparou-se a elevação dos 24 pontos medidos em campo, com as elevações medidas sobre o MDT gerado pelo software. Posteriormente, foi calculado o Erro Quadrático Médio (EQM) destes pontos, sendo possível determinar o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) do modelo (ver Anexo).

A altimetria foi calculada com o critério de classificação que diz: o PEC altimétrico para classe "A" é de metade da equidistância entre as curvas de nível. O EQM encontrado foi de 2,40 m, o que resulta em um PEC de 3,94 m. Isto indica que a escala 1:25.000 com curvas de nível com equidistância de 10 m atende aos requisitos.

Para avaliar a exatidão planimétrica do MDE foi verificado o PEC classe "A" para escala 1:25.000. Os valores da média dos deslocamentos, desvio padrão e maior erro em 90% da amostra foram respectivamente 3,5 m; 1,8 m e 6,2 m. A ortoimagem gerada se enquadra

na especificação exigida para a escala 1:25.000 classe A, com equidistância das curvas de nível de 10m.

Adicionalmente, foi feita a recuperação das curvas de nível do aerolevante executado em 1989, no perímetro urbano da época. Este trabalho foi executado vetorizando as curvas de nível a partir dos mapas digitais fornecidos pela Prefeitura Municipal, para eliminar alguns erros existentes no levantamento, utilizando o programa *Cartalinx*, com o georeferenciamento sendo feito no *IDRISI*. Com isto pode-se obter uma base cartográfica na escala 1:2.000 da área central do município (com cerca de 10,78 km²).

7 ANÁLISE DOS DADOS E GERAÇÃO DAS CARTAS DE SUSCETIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS

A partir do Levantamento Geológico, das inspeções de campo e ensaios geotécnicos, da análise do histórico de acidentes e estudando as informações de topografia contidas nas bases cartográficas produzidas (1:50.000; 1:25.000 e 1:2.000), foram determinados os principais condicionantes aos movimentos de terra no município de Igrejinha. Isto permitiu a compartimentação do território em unidades de terreno segundo os seus comportamentos geotécnicos semelhantes (ou esperados). Este critério pressupõe que a observação de incidentes e eventos passados representa uma indicação confiável da possibilidade da ocorrência de eventos futuros similares.

Foram identificados os seguintes fenômenos geotécnicos:

1. Corridas de terra (ou detritos) – em encostas íngremes de grande amplitude e formando anfiteatros amplos com concentração da drenagem;
2. Tombamento e rolamento de blocos (em escarpas) – escarpas de rochas de elevada inclinação;
3. Deslizamentos rápidos de solos rasos sobre arenito – nas áreas em que o arenito Botucatu prevalece e a declividade da encosta propicia o fenômeno;
4. Escorregamentos rotacionais ou irregulares em solos residuais/rochas alteradas de basaltos – nos locais em que o Basalto 1 ocorre com declividades maiores;

5. Escorregamentos de colúvios saturados no sopé de escarpas – nas áreas de sopé de encostas, com afluxo de água subterrânea, e com sinais de movimentação (em geral terreno fortemente ondulado).

Considerando-se os diversos fenômenos encontrados e com base nas observações de campo, pode-se definir os condicionantes apresentados na Tabela 2 para os mapas de suscetibilidade nas escalas 1:50.000 e 1:25.000. Esta subdivisão das classes de suscetibilidade refere-se aos tipos de processos observados, os quais estão fortemente relacionados aos materiais geológicos/geotécnicos.

A partir destes condicionantes, e utilizando o programa IDRISI, foram realizadas algumas operações lógicas de cruzamento dos dados de declividade, derivadas dos Modelos Numéricos de Terreno, e de geologia, a partir dos mapas produzidos neste projeto, obtendo-se desta forma 2 Cartas de Suscetibilidade a Escorregamentos (em 2 escalas diferentes):

- a) Uma Carta do município inteiro, na escala 1:50.000, utilizando o MDT derivado da base cartográfica vetorizada pelo LABGEO, a partir dos levantamentos cartográficos do Ministério do Exército (Figura 13);
- b) Uma Carta da região mais central do município, na escala 1:25.000, utilizando a base cartográfica produzida neste projeto, a partir das imagens ALOS (Figura 14).

É importante ressaltar que alguns fenômenos observados em campo só ocorrem em algumas regiões, não aparecendo, portanto, em todos os mapas. Por isto, os fenômenos de corridas que foram identificados nas cabeceiras do arroio Solitária, no extremo oeste do município, não estão representados no mapa 1:25.000, uma vez que não ocorrem naquela área.

Tabela 2 – Classes de suscetibilidade a escorregamentos adotados nas cartas nas escalas 1:25.000 e 1:50.000.

CLASSE	Sub-classe	CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES	PROCESSOS GEODINÂMICOS
Alta Susceti- bilidade	I	I(a) Áreas nas encostas de anfiteatros com sinais de corridas de detritos e áreas laterais aos cursos de água destes locais – “buffer” de 500m (ex.: Solitária).	I (a) Elevado perigo em função da intensidade dos fenômenos recorrentes.
		I(b) Escarpas verticalizadas em Basaltos 2 e rochas Fácies Caxias com sinais de quedas e tombamentos de blocos, alguns de grande porte – “buffer” de 100m.	I(b) Perigo alto em função da recorrência dos movimentos de massa.
		I(c) Encostas íngremes ($\geq 30\%$ ou 17 graus) em Basaltos 2 e rochas Fácies Caxias, com movimentos de massa (blocos e solo), e as áreas de atingimento.	I(c) Probabilidade de ocorrência de movimentos de massa de alta velocidade.
		I(d) Encostas em arenitos e Basaltos 1 com declividades maiores do que 25%.	I(d) Elevada probabilidade de rupturas.
		I(e) Depósitos de colúvios argilosos no sopé de escarpas com sinais de movimentos (identif. em campo)	I (e) Movimentos de baixa velocidade mas sazonais.
Média Susceti- bilidade	II a	II (a) Áreas em que ocorrem Fácies Caxias e Basalto 2 com declividades entre 20-30% (~11 a 17 graus).	II(a) Áreas com declividades consideradas de perigo médio em função do material.
	II b	II(b) Áreas em que ocorrem Basaltos 1 (alterado) com declividades entre 15- 25% (~ 8,5 a 14 graus).	II (b) Possibilidade de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa naturais e induzidos.
	II c	II(c) Áreas em que ocorre Arenito Botucatu pouco alterado, com declividades entre 15 e 25% (~8,5 a 14 graus).	II (c) Possibilidade de ocorrência de deslizamentos rasos naturais e induzidos.
Baixa Susceti- bilidade	III	Áreas não sujeitas aos processos anteriores	Muito baixa possibilidade de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa, naturais e induzidos e fora das zonas de inundação.

A Tabela 3 apresenta as Classes de Suscetibilidade a Escorregamentos definidos para a Carta realizada na escala 1:2.000. Com o maior grau de detalhamento topográfico é possível definir melhor os contornos das áreas, entretanto, a Geologia não foi mapeada nesta escala.

Tabela 3 - Classes de suscetibilidade do terreno a processos de escorregamentos (esc.=2.000)

CLASSE	Tipos	CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES	PROCESSOS GEODINÂMICOS
Alta Susceti- bilidade	I	<p>I(a) Áreas próximas a escarpas de basalto com sinais de quedas de blocos ou escorregamentos rotacionais.</p> <p>I(b) Grandes depósitos de colúvios instáveis (sinais de movimentos lentos, trincas e ondulações).</p> <p>I(c) Encostas íngremes ($\geq 30\%$ ou 17 graus) em áreas em que ocorre Basalto 2.</p> <p>I(d) Áreas em que ocorre Basalto1 alterado, com declividades $\geq 25\%$ (14 graus) e áreas adjacentes a estes materiais (faixas de 20m em função da altura e declividade da encosta).</p> <p>I(e) Áreas em que ocorre Arenito Botucatu, com declividades $\geq 25\%$ (14 graus). Áreas adjacentes a estes materiais (faixas de 20m a 100m em função da altura e declividade da encosta).</p>	<p>I(a) Áreas muito perigosas em função da magnitude dos fenômenos.</p> <p>I(b) Elevada probabilidade de ocorrência de movimentos de massa.</p> <p>I(c,d,e) Probabilidade de ocorrência de movimentos de massa de média a alta velocidade.</p>
Média Susceti- bilidade (#)	II b	II(b) Áreas em que ocorre Basalto1 alterado, com declividades entre 15 e 25% (~8,5 -14 graus).	II(b,c) Menor probabilidade de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa naturais e induzidos (movimentos rotacionais e translacionais de solo).
	II c	II(c) Áreas em que ocorre Arenito Botucatu pouco alterado, com declividades entre 15 e 25% (~8,5 e 14 graus) e alturas menores do que 20m.	
Baixa Susceti- bilidade	III	Áreas não sujeitas aos processos anteriores	Muito baixa possibilidade de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa, naturais e induzidos.

Obs.: (#) A Classe IIa, Áreas em que ocorre Basalto 2 com declividades entre 20 e 30% (~11 a 17graus), não foi identificada na área coberta neta escala de mapeamento.

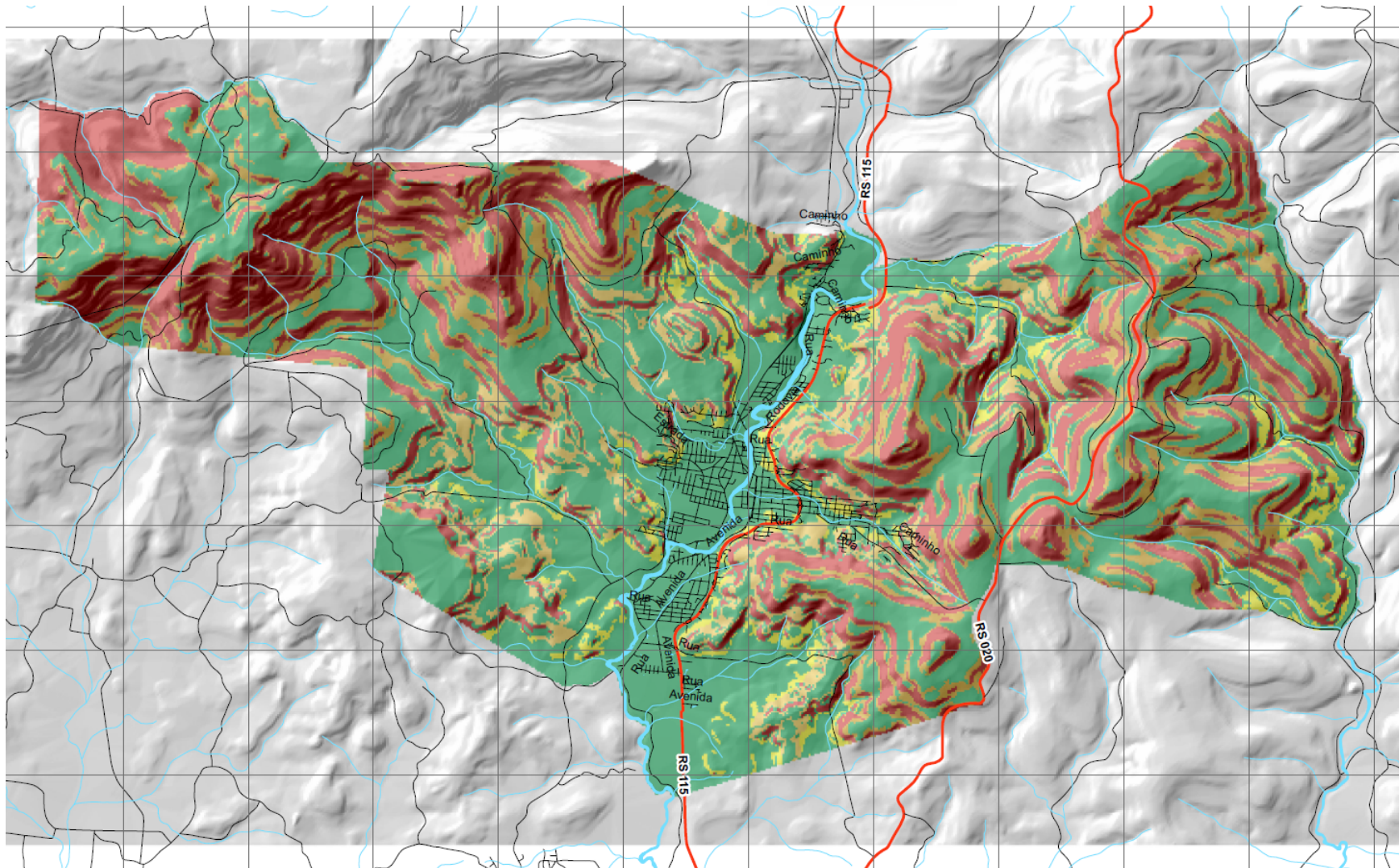


Figura 13 – Carta de suscetibilidade a escorregamentos do município de Igrejinha (esc. 1:50.000)

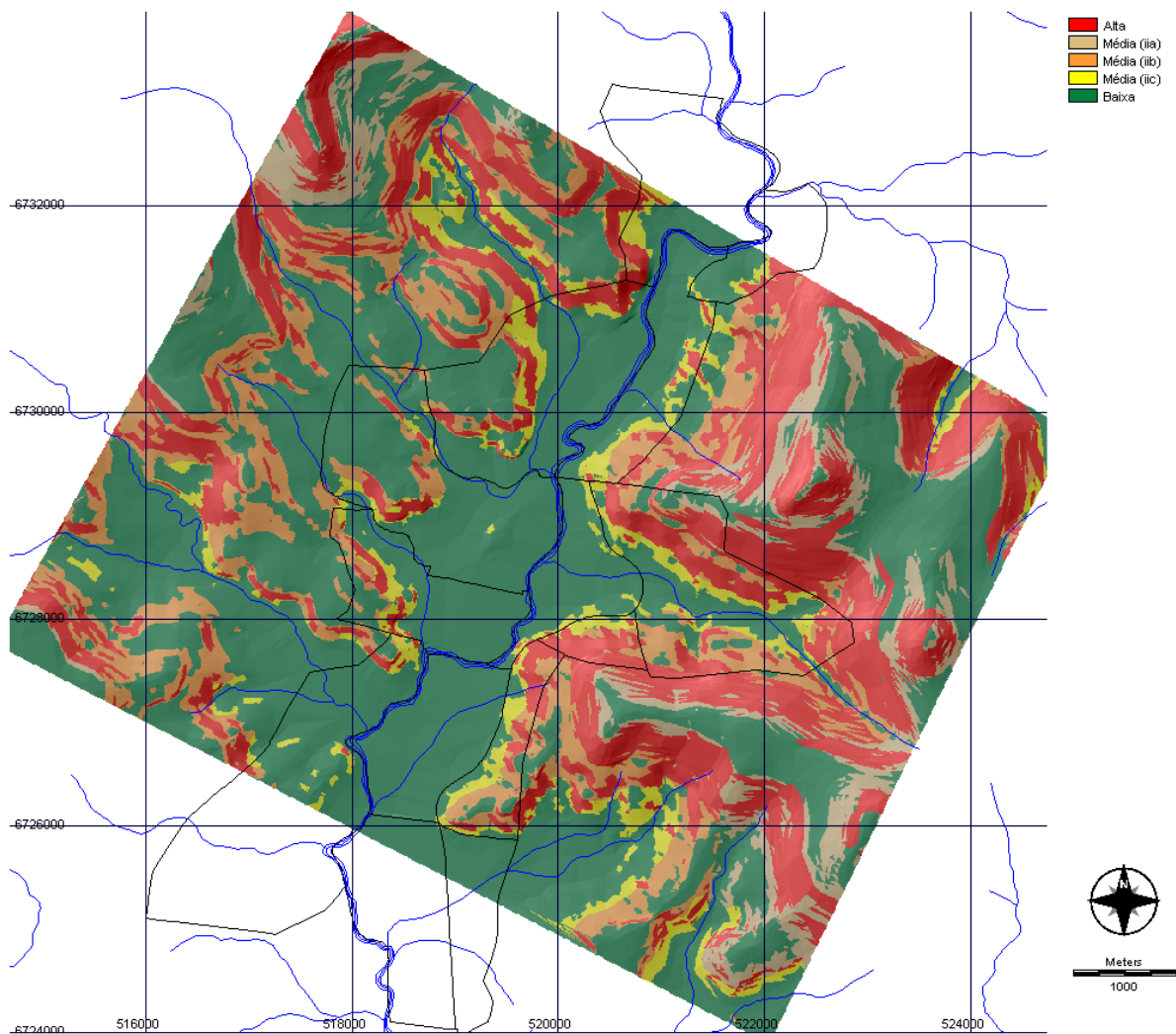


Figura 14 – Carta de suscetibilidade a escorregamentos da área mais central do município de Igrejinha (esc. 1:25.000)

CARTAS GEOTÉCNICAS E PRINCIPAIS DIRETRIZES PARA OCUPAÇÃO DAS ÁREAS COM APTIDÃO À URBANIZAÇÃO

(e propostas para gerenciamento das áreas já ocupadas)

A partir do cruzamento dos mapeamentos de materiais geológicos/geotécnicos, da declividade derivada dos Modelos Digitais do Terreno e das informações de inspeção de campo, foram definidos critérios para zoneamento das Classes de Aptidão frente aos escorregamentos e inundações. Estes critérios foram formalizados e estão apresentados nas Tabelas a seguir.

As Tabelas 4 e 5 apresentam as principais Classes de Aptidão à Urbanização frente aos processos de inundação, sendo a primeira uma descrição dos processos e a Tabela 5 apresenta as Indicações para Projeto de Parcelamentos do Solo e de Edificações.

Tabela 4 - Classes de Aptidão à Urbanização do Terreno considerando processos de inundação e condicionantes correlatos.

CLASSE	Tipos	CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES	PROCESSOS GEODINÂMICOS
Baixa Aptidão à Urbanização ou Inaptas	I (i)	(a) Faixa de deposição de blocos ao longo da parte mais íngreme dos arroios. (b) Áreas sujeitas a inundações do rio Paranhana com períodos de recorrência menores do que 10 anos. I (c) Áreas de proteção no entorno dos cursos de água (APP)	(a) Elevada probabilidade de atingimento por processos de corridas de detritos e enxurradas. (b) Elevada probabilidade de atingimento por inundações (com possível erosão de margens). (c) APP - áreas de proteção de 50m no entorno do rio Paranhana e 30m nos arroios.
Média Aptidão à Urbanização	II	Áreas com depósitos de sedimentos quaternários e seixos, sujeitas a inundações com tempos de recorrência entre 10 e 50 anos (^{&}).	Áreas com risco à inundação considerado tolerável, em função do histórico de uso.
Alta Aptidão à Urbanização	III	Áreas não sujeitas aos processos anteriores	Baixa a muito baixa probabilidade de ocorrência de danos por inundações (TR >50anos).

Obs.: ([&]) – na região central de Igrejinha os limites de inundação em planta são difíceis de diferenciar, sendo o fator mais importante a definição da altura de inundação nos locais (não realizado neste estudo). Além disto, há algumas áreas afetadas por inundações com TR de 100 anos, que estão sendo consideradas como zonas III.

Tabela 5 - Classes de Aptidão à Urbanização do Terreno considerando processos de inundação e indicações para projeto de parcelamento do solo e de edificações (áreas de expansão urbana) – esc = 1: 25.000.

CLASSE	Tipos	CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES	INDICAÇÕES PARA PROJETO DE PARCELAMENTO DO SOLO E DE EDIFICAÇÕES
Baixa Aptidão à Urbanização	I (i)	I (a) Faixa de deposição de blocos ao longo da parte mais íngreme dos arroios. I (b) Áreas sujeitas a inundações do rio Paranhana com períodos de recorrência menores do que 10 anos. I (c) Áreas de proteção no entorno dos cursos de água (APP)	Não devem ser aprovados lotes para ocupação permanente nestas áreas.
Média Aptidão à Urbanização	II	Áreas com depósitos de sedimentos quaternários e seixos, sujeitas a inundações com tempos de recorrência entre 10 e 50 anos (&).	Aprovação de lotes para ocupação permanente somente nas áreas com em que se comprove que a cota de inundação <u>no terreno</u> seja menor do que 0,50m para TR = 25anos. (\$)
Alta Aptidão à Urbanização	III	Áreas não sujeitas aos processos anteriores ou com tempos de recorrência maiores do que 50 anos.	Não há restrições especiais para a aprovação de lotes para ocupação permanente nestas áreas.

(&) – na região central de Igrejinha os limites de inundação em planta são semelhantes para diversos tempos de recorrência, sendo o fator mais importante a definição da altura de inundação nos locais (deverá ser feito). Além disto, há algumas áreas afetadas por inundações com TR entre 50 e 100 anos, que estão sendo consideradas como zonas III.

(\$) – Esta cota deverá ser determinada em estudos específicos. Além disto, recomenda-se que o projeto das construções deva considerar a cota do piso do primeiro pavimento esteja acima dos níveis máximos de inundação para TR>25 anos.

Obs.: as áreas já ocupadas na região central, devem ter regulamentação especial de modo a mitigar as consequências das inundações futuras (em órgãos de atendimento de saúde, creches, escolas, etc.), tais como planos de transferência, elevação das construções, obras de proteção ou outras medidas.

A Tabela 6 apresenta as Classes de Aptidão à Urbanização frente aos processos de escorregamentos e as Indicações para Planejamento, nas escalas 1:50.000 e 1:25.000.

A Tabela 7 apresenta as Classes de Aptidão à Urbanização frente aos Escorregamentos para a Escala 1:2.000.

Tabela 6 - Classes de Aptidão à Urbanização dos Terrenos a processos de escorregamentos (esc.= 1:50.000 e 1:25.000)

CLASSE	Tipos	CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES	INDICAÇÕES PARA PLANEJAMENTO DE USO DO SOLO E PLANO DIRETOR
Baixa Aptidão à Urbanização	I	<p>I(a) Áreas nas encostas de anfiteatros com sinais de corridas de detritos e áreas laterais aos cursos de água destes locais – “buffer” de 500m (ex.: Solitária).</p> <p>I(b) Escarpas verticalizadas em Basaltos 2 e rochas Fácies Caxias com sinais de quedas e tombamentos de blocos, alguns de grande porte – “buffer” de 100m.</p> <p>I(c) Encostas íngremes ($\geq 30\%$ ou 17 graus) em Basaltos 2 e rochas Fácies Caxias, com movimentos de massa (blocos e solo), e as áreas de atingimento.</p> <p>I(d) Encostas em arenitos e Basaltos 1 com declividades maiores do que 25%.</p> <p>I(e) Depósitos de colúvios argilosos no sopé de escarpas com sinais de movimentos (identif. em campo).</p>	Estas áreas não devem ser objeto de ocupação permanente.
Média Aptidão à Urbanização	II a	II(a) Áreas em que ocorrem Fácies Caxias e Basalto 2 com declividades entre 20-30% (~11 a 17 graus).	Necessitam estudos locais; declividade e presença de água subterrânea são determinantes no tipo de uso ou obra necessária.
	II b	II(b) Áreas em que ocorrem <i>Basaltos 1(alterado)</i> com declividades entre 15-25% (~ 8,5 a 14 graus).	
	II c	II(c) Áreas em que ocorre Arenito Botucatu pouco alterado, com declividades entre 15 e 25% (~8,5 a 14 graus).	Necessitam estudos locais para determinar espessura de solo e tipos de intervenção.
Alta Aptidão à Urbanização	III	Áreas não sujeitas aos processos anteriores	Não há restrições de ordem geotécnica para o uso destas áreas.

Tabela 7 - Classes de Aptidão à Urbanização dos terrenos em relação aos processos de escorregamentos e Diretrizes para Projeto (esc.=2.000)

CLASSE	Tipos	CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES	DIRETRIZES PARA PROJETO DE PARCELAMENTO DO SOLO E DE EDIFICAÇÕES
Baixa Aptidão à Urbanização	I	<p>I(a) Áreas próximas a escarpas de basalto com sinais de quedas de blocos ou escorregamentos rotacionais.</p> <p>(Ib) Grandes depósitos de colúvios instáveis (sinais de movimentos lentos, trincas e ondulações).</p> <p>(Ic) Encostas íngremes ($\geq 30\%$ ou 17 graus) em áreas em que ocorre Basalto 2.</p> <p>I(d) Áreas em que ocorre Basalto1 alterado, com declividades $\geq 25\%$ (14 graus) e áreas adjacentes a estes materiais (faixas de 20m em função da altura e declividade da encosta).</p> <p>(Ie) Áreas em que ocorre Arenito Botucatu, com declividades $\geq 25\%$ (14 graus). Áreas adjacentes a estes materiais (faixas de 20m a 100m em função da altura e declividade da encosta).</p>	Não devem ser aprovados lotes para ocupação permanente nestas áreas.
Média Aptidão à Urbanização	II a	<i>Esta classe não foi identificada na área coberta nesta escala de mapeamento.</i>	Aprovação de lotes para ocupação permanente nestas áreas está condicionada à apresentação de estudo geotécnico atestando as condições de estabilidade dos taludes. [ver (\$)].
	II b	II(b) Áreas em que ocorre Basalto1 alterado, com declividades entre 15 e 25% (~8,5 -14 graus).	
	II c	II(c) Áreas em que ocorre Arenito Botucatu pouco alterado, com declividades entre 15 e 25% (~8,5 e 14 graus) e alturas menores do que 20m.	
Alta Aptidão à Urbanização	III	Áreas não sujeitas aos processos anteriores	Não há restrições especiais para a aprovação de lotes para ocupação permanente.

(\$) projeto de estabilidade de taludes ou das estruturas de contenção (com memorial descritivo segundo as Normas Brasileiras – NBR11.682), para aterros com altura superior a 3,0 m. Todas as encostas adjacentes à construção, seja em corte ou naturais, devem ser verificadas. Em arenito deve ser verificada principalmente a ruptura translacional. Recomenda-se que a investigação do basalto deve atingir profundidades maiores do que 1,3H (H= altura dos cortes). No arenito deve ser confirmada a cota do material resistente (SPT = impenetrável). Expedição do alvará de construção deverá ser condicionado à apresentação de projeto específico.

Utilizando estes critérios, foram executadas as operações de cruzamento das condicionantes no programa IDRISI, o que gerou a Carta de Aptidão à Urbanização segundo escorregamentos da região central do município na escala 1:25.000 (Figura 15).

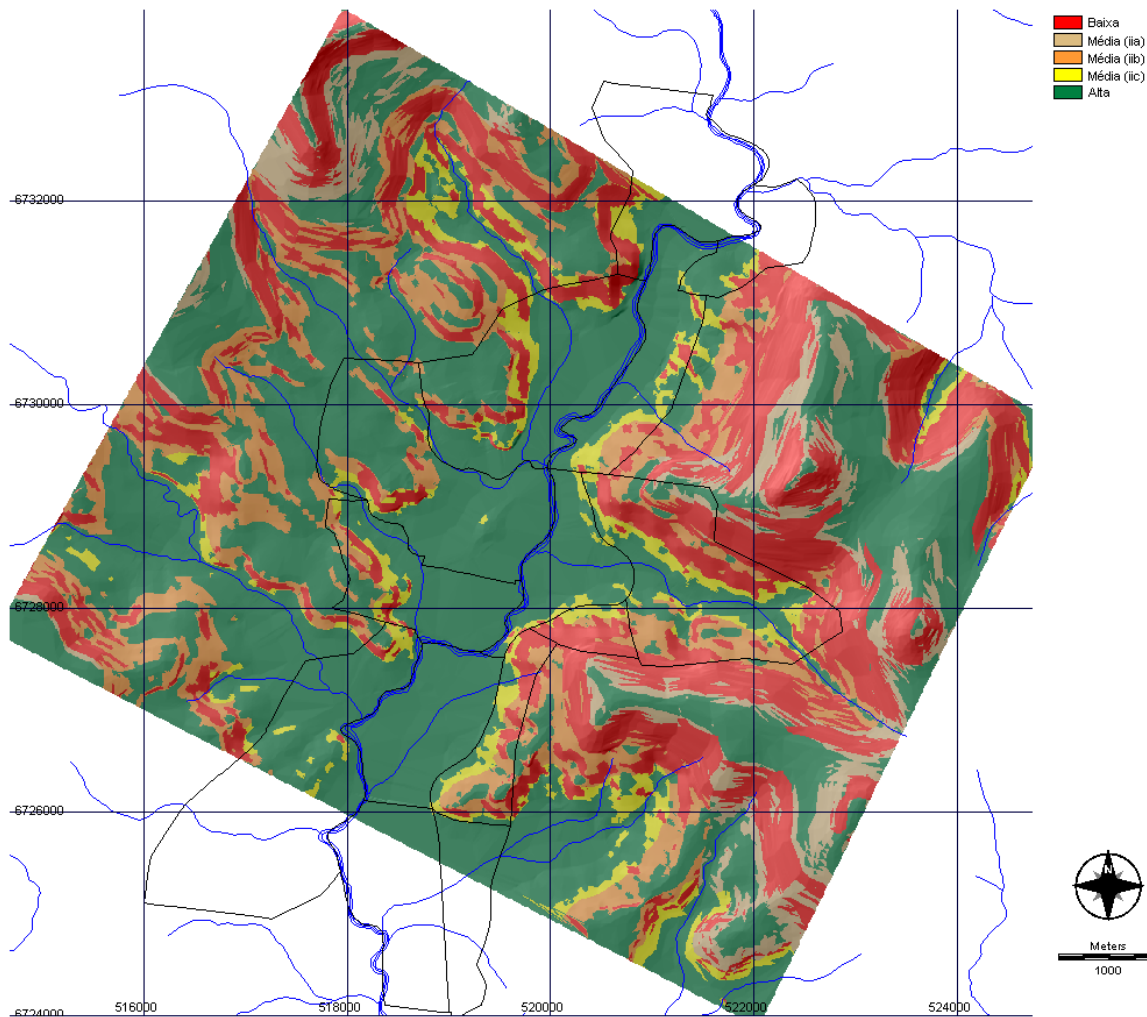


Figura 15 – Carta de Aptidão a Urbanização considerando inundações e movimentos de massa (escorregamentos, deslizamentos, quedas de blocos e corridas) da área central de Igrejinha – esc. 1:25.000.

A aplicação dos mesmos critérios sobre a base cartográfica obtida a partir do aerolevantamento de 1989, na escala 1:2.000, permitiu a elaboração de uma Carta Geotécnica nesta escala. Esta Carta permite estudar em mais detalhes a área do bairro Viaduto e as

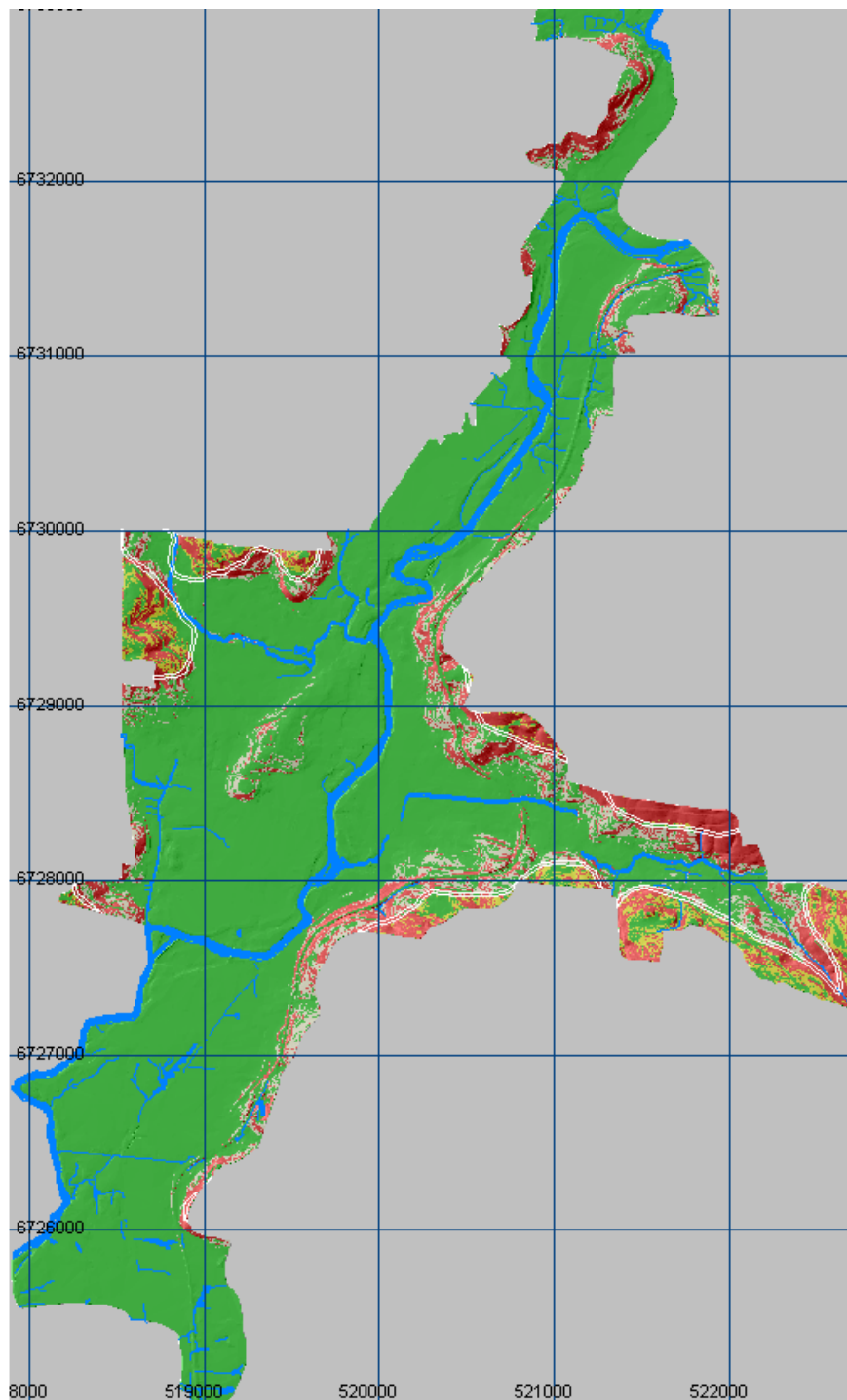


Figura 16 – Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização quanto a escorregamentos, do perímetro urbano de 1989 de Igrejinha - a) as zonas vermelha/róseo são áreas inadequadas ou de baixa aptidão; b) zonas amarelas são de média aptidão e c) zonas verdes tem alta aptidão à urbanização (não há restrições geotécnicas) – esc. 1:2.000.

declividades acentuadas da margem esquerda do rio Paranhana (Figura 16). Entretanto, devido ao seu recorte, algumas das áreas mais íngremes estão fora do limites

cartografados.

Por fim, adicionando-se à Carta de Aptidão produzida na escala 1:25.000 as regiões anteriormente definidas pelo critério de atingimento por inundações, foi produzida a Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização da Área Central de Igrejinha, considerando movimentos de massa (escorregamentos) e inundações – Figura 17 (redução de mapa final apresentado no projeto).


Nesta Figura 17 (Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização da Área Central de Igrejinha) estão marcadas (a) as zonas afetadas por inundação para $T_r = 10$ anos e as áreas inadequadas ou de baixa aptidão devido a escorregamentos (cores avermelhadas); (b) zonas de média aptidão em cores amareladas e (c) as zonas verdes que tem alta aptidão à urbanização (não há restrições geotécnicas). Estes mapas estão georeferenciados e disponíveis publicamente, tendo sido produzidos com dados básicos na escala 1:25.000. O mapa foi produzido com dois tipos de cores: este em tons pastel, resultado da combinação de efeitos e sombreamento e outro com cores mais básicas (impressão física em papael com tamanhos maiores, para manuseio).

É interessante observar que o município tem uma grande área de expansão a oeste da região central que apresenta uma alta aptidão à urbanização, sendo recomendável que o crescimento da cidade seja induzido para aquela região, evitando problemas futuros.

CARTA GEOTÉCNICA DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO DA PORÇÃO CENTRAL DO MUNICÍPIO DE IGREJINHA (ESCORREGAMENTOS E INUNDAÇÕES) Incorporando sombreamento do terreno

Escala do Mapeamento 1:25.000

Projeção: UTM Zona 22 S
Sirsigs 2000



Representação do Norte da Subárea

Fonte: Restituição topográfica de 1970, atualizada em 2012. Mapeamento geológico na escala 1:25.000, 2013. UFRGS

Legenda

Imagem aérea

Imagem aérea

NOME

RS 020


RS 115

RS 220

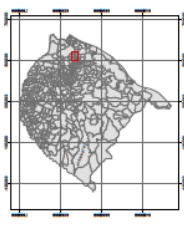
RS 230

RS 470


Rancho




0 1 2 km

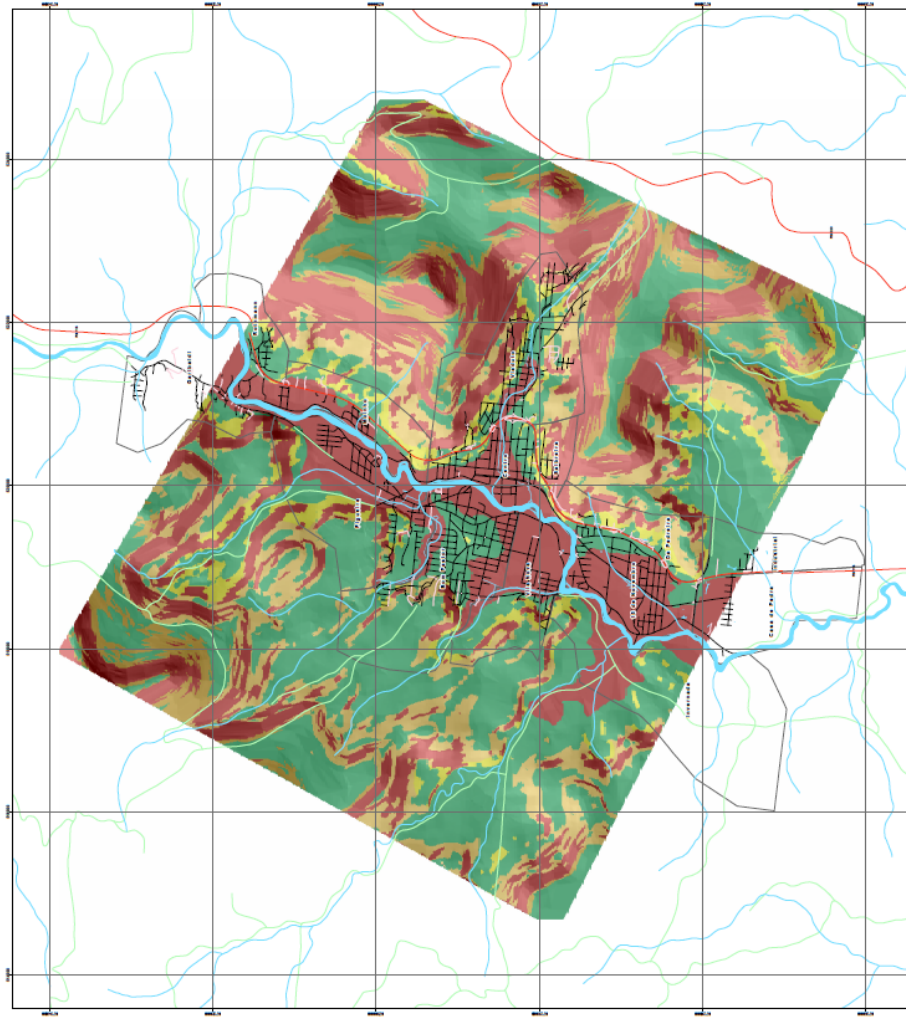


Localização



Projeto Elaboração de Cartas Geotécnicas de Aptidão à Urbanização Frente aos Desastres Naturais no Município de Igrejinha, RS





CLASSE	TIPOS	INDICAÇÕES PARA PLANEJAMENTO DE USO DO SOLO E PLANO DIRETOR	
Áreas Urbanizáveis	I	<p>Áreas com aptidão para edificação com altura de até 10 metros e áreas de declividade inferior a 15% (áreas de declividade superior a 15% e inferior a 25% são consideradas áreas de risco de deslizamento e inundações).</p> <p>Áreas com aptidão para edificação com altura de até 10 metros e áreas de declividade inferior a 15% (áreas de declividade superior a 15% e inferior a 25% são consideradas áreas de risco de deslizamento e inundações).</p>	<p>Essas áreas são destinadas ao tipo de ocupação permanente.</p> <p>Essas áreas são destinadas ao tipo de ocupação permanente.</p> <p>Essas áreas são destinadas ao tipo de ocupação permanente.</p> <p>Essas áreas são destinadas ao tipo de ocupação permanente.</p> <p>Essas áreas são destinadas ao tipo de ocupação permanente.</p>
	II	Áreas com aptidão para edificação com altura de até 10 metros e áreas de declividade inferior a 15% (áreas de declividade superior a 15% e inferior a 25% são consideradas áreas de risco de deslizamento e inundações).	
	III	Áreas com aptidão para edificação com altura de até 10 metros e áreas de declividade inferior a 15% (áreas de declividade superior a 15% e inferior a 25% são consideradas áreas de risco de deslizamento e inundações).	
	IV	Áreas com aptidão para edificação com altura de até 10 metros e áreas de declividade inferior a 15% (áreas de declividade superior a 15% e inferior a 25% são consideradas áreas de risco de deslizamento e inundações).	
	V	Áreas com aptidão para edificação com altura de até 10 metros e áreas de declividade inferior a 15% (áreas de declividade superior a 15% e inferior a 25% são consideradas áreas de risco de deslizamento e inundações).	
Áreas não urbanizáveis	<p>Áreas com aptidão para edificação com altura de até 10 metros e áreas de declividade inferior a 15% (áreas de declividade superior a 15% e inferior a 25% são consideradas áreas de risco de deslizamento e inundações).</p> <p>Áreas com aptidão para edificação com altura de até 10 metros e áreas de declividade inferior a 15% (áreas de declividade superior a 15% e inferior a 25% são consideradas áreas de risco de deslizamento e inundações).</p>	Essas áreas são destinadas ao tipo de ocupação permanente.	

8 CONCLUSÕES

Em virtude de sua amplitude, este trabalho originou uma série de produtos que estão apresentados nos relatórios anexos. Estes produtos devem contribuir para orientar os trabalhos futuros que serão necessários para os processos de adequação aos desastres naturais que afetam Igrejinha. Cabe à sociedade e ao Poder Público de Igrejinha proceder discussões, acordos e entendimentos para realizar os ajustes legais e de procedimentos construtivos e para enfrentar, mitigar e prevenir os diversos eventos que a cidade e a população poderão estar sujeitos no futuro.

Segue uma lista das principais conclusões obtidas neste trabalho, com comentários relacionados.

8.1 HIDROLOGIA

- 8.1.1 Foram estabelecidos os hidrogramas da bacia a partir das chuvas para tempos de recorrência de 10, 50 e 100 anos.
- 8.1.2 Utilizando dados geométricos da bacia e trechos dos rios e arroios, foram estabelecidas as manchas de inundação para os tempos de recorrência de 10 e 50 anos como referenciais de áreas atingidas para suscetibilidade alta (TR de menos de 10 anos) e baixa (Tr maior do que 50 anos).
- 8.1.3 Em função do formato muito encaixado do vale na região da cidade de Igrejinha, as manchas de inundação para os diversos tempos de recorrência não mostraram muita diferença em área, variando entre 1.010ha e 1.105 ha para os tempos de 10 anos e 100 anos.

8.2 BASES CARTOGRÁFICAS

- 8.2.1 Foram vetorizadas as bases cartográficas do aero-levantamento de 1989, com curvas de nível de 2/2 m, obtendo-se o MDT daquele levantamento, na escala 1:2.000.
- 8.2.2 A partir de um trabalho de restituição do terreno, e utilizando 24 pontos de controle geodésico locados em campo, foram obtidas as curvas de nível de 10/10m da área central do município, que representa cerca de 40% da área do município (56 km²), a partir de orto-imagens do satélite ASTER, na escala 1:25.000.

8.3 GEOLOGIA

- 8.3.1 Foi realizado um mapeamento geológico da região de Parobé, Igrejinha e Três Coroas para estabelecer os principais materiais presentes, produzindo-se um mapa geológico na escala 1:25.000 da região.
- 8.3.2 Foram encontrados 6 grandes grupos de materiais de importância regional: Fm Botucatu, Basaltos 1, Basaltos 2, Rochas vulcânicas Fácies Caxias (riodacitos), Depósitos Alúvio-colvionares e Fm Pirambóia (este fora da área do município).

8.4 MAPAS DE SUSCETIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS

- 8.4.1 Foram identificados diversos tipos de mecanismos de escorregamentos relacionados a diferentes ambientes geomorfológicos e materiais:
 - corridas de detritos;
 - quedas e tombamentos de blocos de basalto;

- deslizamentos de blocos e solos em encostas íngremes de basaltos tipo 2;
 - escorregamentos rotacionais em basaltos tipo 1;
 - deslizamentos em solos sobre arenito Botucatu;
 - escorregamentos em colúvios saturados no sopé das encostas.
- 8.4.2 Foram mapeadas zonas suscetíveis aos vários tipos de escorregamentos a partir da identificação dos materiais e cruzamento das informações com declividade e altura das encostas.
- 8.4.3 As corridas e quedas de blocos de grandes dimensões foram mapeadas na escala municipal de 1:50.000.
- 8.4.4 Os principais tipos de movimentos foram mapeados na escala 1:25.000, mas melhor definição da declividade seria obtida com escalas 1:10.000 (é recomendável que seja feito), especialmente no bairro Viaduto.
- 8.4.5 Nas áreas cobertas pelo aero-levantamento de 1989, na escala 1:2.000, foram zoneados as áreas com possibilidades de escorregamentos, entretanto, o mapeamento geológico não foi detalhado nesta escala (permanecendo com resolução equivalente a 1:25.000).

8.5 CARTAS GEOTÉCNICAS E DIRETRIZES PARA UTILIZAÇÃO E URBANIZAÇÃO

- 8.5.1 Foi criada uma Carta Geotécnica para Escorregamentos, apresentada nas escalas de
- a) 1:50.000 (toda a área do município – 135 km²);
 - b) 1:25.000 (área central do município (56 km²) e
 - c) 1:2.000 correspondente à área coberta pelo aero-levantamento de 1989. (área).
- 8.5.2 Nas cartas de escorregamentos, foram identificadas 3 zonas com diferentes níveis de aptidão à urbanização:
- a) áreas vermelhas, inadequadas à urbanização;
 - b) áreas amarelas, com alguma restrição de utilização e
 - c) áreas verdes, aptas à urbanização.
- 8.5.3 Foram estabelecidas Diretrizes para utilização destas áreas, que são apresentadas junto das Cartas Geotécnicas.
- 8.5.4 Foi criada uma Carta Geotécnica considerando inundações, dividindo-se o território urbano segundo sua aptidão à urbanização em 3 zonas:
- a) zona vermelha, inadequada à urbanização ($Tr \leq 10$ anos);
 - b) zona amarela, aptidão média à urbanização (caso intermediário)
 - c) zona verde, região com alta aptidão à urbanização ($Tr \geq 50$ anos).
- 8.5.5 Foram sugeridas Diretrizes de Ocupação nas Áreas de Média Aptidão frente à urbanização que deverão ser estudadas em detalhe, pois dependem da profundidade de inundação.

8.6 RECOMENDAÇÕES

- 8.6.1** A partir dos estudos apresentados, recomenda-se que o crescimento da cidade de Igrejinha seja induzido para a região oeste da cidade, na margem direita do rio Paranhana. Nesta região ainda existem diversos terrenos com características apropriadas à urbanização.
- 8.6.2** Tendo em vista os resultados das modelagens de inundação da região central do município, recomenda-se que sejam estudadas medidas complementares para mitigar os efeitos destas inundações, seja com o apoio a adaptações nas estruturas existentes, seja com planejamento do deslocamento dos serviços públicos mais importantes. Devem ser estudadas e discutidas com a sociedade quais medidas devem ser adotadas a curto, médio e longo prazo.
- 8.6.3** Estes estudos devem ter ampla divulgação na cidade de Igrejinha e os critérios de

aprovação de loteamentos e obras devem ser adequados a estas recomendações. Estudos geotécnicos ou hidrológicos para situações específicas poderão ser avaliados, desde que mostrem a inter-relação das obras com o entorno .

ANEXOS

A1 – Modelagem hidrológica

A2 - Geologia

A3 – Geotecnia

A4 – Cartografia

A5 – Diretrizes gerais para a incorporação das Cartas Geotécnicas no Plano Diretor e para os projetos de parcelamento do solo

A6 – Gestão do trabalho e processo participativo

BIBLIOGRAFIA

(ver bibliografia específica nos relatórios anexos)

Azambuja, A. R. (2011) Diagnóstico de Defesa Civil do Município de Igrejinha. Pref. Municipal de Igrejinha,

**ELABORAÇÃO de CARTAS GEOTÉCNICAS
de APTIDÃO à URBANIZAÇÃO
FRENTE aos DESASTRES NATURAIS
no MUNICÍPIO de IGREJINHA, RS**

Anexos ao Relatório Final

Espacialização de áreas suscetíveis às inundações do rio Paranhana no município de Igrejinha, RS, utilizando modelagem hidrológica e geoprocessamento.

Laurindo Antonio Guasselli, Guilherme Garcia de Oliveira, Renata Pacheco Quevedo,
João Paulo Brubacher

1. Introdução

O aumento dos impactos das inundações pode ser explicado, principalmente, pela expansão da ocupação humana em áreas suscetíveis à ocorrência destes fenômenos (Kobiyama et al., 2006). A ocupação destas áreas ocorre pela presença de infraestrutura urbana, pela localização e mobilidade, sendo, muitas vezes, impulsionada pela especulação imobiliária. Além disso, a sociedade ocupa estas áreas em virtude dos desastres naturais possuírem uma distribuição irregular no tempo, muitas vezes sem nenhuma ocorrência durante décadas (Tucci e Bertoni, 2003).

As inundações e enxurradas são originadas por eventos climáticos extremos e constituem-se em fenômenos de ocorrência natural e periódica em todos os ambientes fluviais (Castro, 1998; Oliveira, 2010; Marengo, 2010). Apesar destes fenômenos ocorrerem naturalmente, diversos estudos (Alcántara-Ayala, 2002; Kobiyama et al., 2004; CRED, 2012; UNESCO, 2012) confirmam o aumento da frequência na qual estes fenômenos causam impactos negativos na sociedade e também o aumento dos prejuízos causados por estes (Brubacher et al., 2012).

Com o transcorrer dos anos, entretanto, os investimentos em planejamento e prevenção se tornam insuficientes em relação à expansão urbana, e uma nova inundação causa uma destruição as vezes superior àquela registrada anteriormente. No vale do rio Paranhana, na bacia hidrográfica do rio dos Sinos - RS, por exemplo, historicamente são

registrados muitos episódios de perdas humanas e materiais em decorrência de inundações bruscas e enxurradas. Um dos episódios mais severos foi o ocorrido em junho de 1982, que provocou algumas mortes, desabrigou centenas de famílias e resultou em sérios impactos na economia da região. E em janeiro de 2010, de acordo com a Defesa Civil do Rio Grande do Sul, as inundações atingiram mais de 57.000 pessoas nestes quatro municípios, ocasionando perdas humanas, a destruição de residências, escolas, indústrias e estradas, e a pausa no fornecimento de energia (Oliveira et al., 2012).

Nessa bacia as inundações frequentemente atingem milhares de moradores nos municípios de Parobé, Taquara, Igrejinha e Três Coroas, cujas áreas urbanas estão predominantemente localizadas nas planícies e terraços fluviais do vale do Paranhana.

Em estudo recente, Oliveira et al. (2013) indicaram que a ocupação urbana em áreas suscetíveis às inundações segue aumentando em Igrejinha. De acordo com o estudo, entre 2005 e 2010, foram identificadas 759 novas construções nas áreas inundáveis do perímetro urbano, sendo 88% de uso residencial. Entretanto, a metodologia utilizada para a identificação da suscetibilidade às inundações envolveu algumas simplificações na modelagem hidrológica, às quais podem interferir na delimitação das áreas inundáveis.

A LEI Nº 12.608, de 10 de Abril de 2012 que Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres. Podemos destacar o Artigo Art. 7º nos Parágrafos IV - identificar e mapear as áreas de risco e realizar estudos de identificação de ameaças, suscetibilidades e vulnerabilidades, em articulação com a União e os Municípios; V - realizar o monitoramento meteorológico, hidrológico e geológico das áreas de risco, em articulação com a União e os Municípios e no Parágrafo único. O Plano Estadual de Proteção e Defesa Civil conterà, no mínimo: I - a identificação das bacias hidrográficas com risco de ocorrência de desastres; e II - as diretrizes de ação governamental de proteção e defesa civil no âmbito estadual, em especial no que se refere à implantação da rede de monitoramento meteorológico, hidrológico e geológico das bacias com risco de desastre.

Neste contexto, para a identificação e mapeamento das áreas de risco é necessária a definição das áreas suscetíveis na bacia hidrográfica. Para essa definição, entretanto, é necessário refinar a representação hidrológica, na busca de melhorar a espacialização das

áreas suscetíveis à ocorrência de inundações. Esta medida pode contribuir com um planejamento mais eficiente do espaço urbano, de modo a reduzir os riscos à sociedade, e incentivar a preservação de áreas importantes para a manutenção da dinâmica fluvial.

Assim o objetivo do presente estudo é realizar a modelagem hidrológica aplicada a eventos extremos de precipitação para espacializar as áreas suscetíveis às inundações do rio Paranhana, no município de Igrejinha, RS, em diferentes tempos de retorno (TRs).

Os resultados aqui apresentados foram obtidos a partir de um projeto de pesquisa realizado em parceria com o Ministério das Cidades. Esse projeto visa: elaborar cartas geotécnicas de aptidão à urbanização no município de Igrejinha - RS, e fornecer subsídios para que o Plano Diretor Municipal e os projetos de parcelamento do solo incorporem diretrizes voltadas para a prevenção dos desastres naturais associados a deslizamentos de encostas, enxurradas, corridas de massas, inundações bruscas e graduais. Foi desenvolvido no Centro de Estudos e Pesquisas em Desastres (CEPED) e no Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia (CEPSRM) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

2. Materiais e métodos

De modo simplificado, este trabalho compreendeu sete etapas: i) geração das chuvas de projeto com base em uma equação do tipo i-d-f (intensidade, duração, frequência); ii) extração de variáveis morfométricas e cálculo de parâmetros para a modelagem hidrológica; iii) aplicação do modelo chuva-vazão da Soil Conservation Service (SCS, 1975), nas sub-bacias que compõem a áreas de abrangência; iv) aplicação do modelo Muskingum-Cunge para a propagação de vazões nos principais rios; v) simulação hidrológica de eventos extremos com recorrência (TR) de 10, 50 e 100 anos, através da conjugação dos dois tipos de modelos utilizados; vi) estimativa da cota atingida em diversas seções transversais do rio Paranhana com base na resposta hidrológica obtida através das simulações e nos perfis topográficos oriundos de dados altimétricos; vii) espacialização das áreas suscetíveis às inundações para cada TR.

2.1. Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio dos Sinos está localizada na porção nordeste do estado do Rio Grande do Sul e possui uma área total de 3.820 km² (Figura 1). Essa bacia é uma das mais importantes do estado, contendo parte da mancha urbana da Região Metropolitana de Porto Alegre, com uma população de cerca de 1,3 milhões de habitantes. O rio Paranhana é um dos principais afluentes do rio dos Sinos e tem as suas nascentes nos municípios de Gramado e Canela. A bacia do rio Paranhana possui uma área de 577,22 km² (Brubacher et al., 2011).

O município de Igrejinha possui toda a sua mancha urbana e quase totalidade de sua área (105,7 km²) dentro da bacia hidrográfica do rio Paranhana (Figura 1), (IGREJINHA, 2012). O município conta com uma população de 31.663 habitantes (IBGE, 2010), sendo que o processo de urbanização se desenvolveu ao longo das margens do rio Paranhana.

As unidades geomorfológicas presentes são as Formações da Serra Geral, Arenito Botucatu e Aluviões. A Formação Serra Geral, composta basicamente de basalto, oriundos de derramamentos vulcânicos, está presente nas cabeceiras dos rios Santa Maria, Angabei e Paranhana. A formação Arenito Botucatu está presente no trecho inferior da bacia do rio Paranhana, principalmente nos municípios de Taquara e Parobé. Constitui-se de solos arenosos bastante suscetíveis a erosão. Próximos da calha do rio Paranhana são encontradas as formações aluvionares, caracterizadas por depósitos sedimentares heterogêneos presentes nas várzeas de inundação (Magna, 1996).

A altitude do município de Igrejinha varia entre 22 e 773 metros acima do nível médio dos oceanos. Essa amplitude altimétrica evidencia uma importante característica no que se refere à drenagem das águas nas nascentes do Paranhana. Quando a quantidade de chuva é elevada, as águas do rio podem adquirir grande velocidade de escoamento, possibilitando a ocorrência de enxurradas e agravando os efeitos das inundações no município, ao longo do curso do rio Paranhana e seus principais afluentes.

Considerando a classificação climática realizada por Rossato (2011), o município de Igrejinha se encontra inserido no clima Subtropical IVb, caracterizado por chuvas anuais bem distribuídas, com 130-150 dias com ocorrência de precipitação. A temperatura média anual varia entre 14 e 17°C. A temperatura média do mês mais frio oscila entre 8°C e 14°C e a

temperatura média do mês mais quente varia entre 17 e 23°C. É uma das regiões com o conjunto de médias de temperaturas mais baixo do Rio Grande do Sul.

Com base em uma série temporal de dados de precipitação, entre 1940 e 2001, Brubacher et al. (2012) descrevem que, na bacia hidrográfica do rio dos Sinos, as precipitações são relativamente bem distribuídas ao longo do ano, com um valor médio anual 1.587 mm. A sub-bacia do rio Paranhana é a região mais chuvosa da bacia do rio dos Sinos, com o valor médio um pouco superior em relação ao restante da bacia, chegando a 1.650 mm. Ao longo do ano, o período de junho a outubro é o mais chuvoso, sendo no mês de setembro que acontece a maior média de chuvas (média de 166 mm). Esse período é marcado por chuvas frontais de longa duração e vindas do sul, típicas dos meses mais frios. Entre os meses de outubro a março, chove menos, mas as chuvas são de ocorrências mais localizadas e torrenciais, acumulando uma grande quantidade de chuva em pouco tempo. Normalmente esse período está associado a enxurradas e a deslizamentos de encostas como, por exemplo, nos municípios de Igrejinha, Três Coroas e Rolante.

2.2. Materiais

Os seguintes materiais foram utilizados:

i) dados *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM), modelo de elevação com resolução espacial de 90 metros, disponibilizados pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e adquirido por meio do Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (TOPODATA) e interpolado para uma resolução espacial de 30 metros (Valeriano, 2005; Valeriano, 2008);

ii) base vetorial da rede de drenagem bacia hidrográfica do rio Paranhana (Hasenack e Weber, 2010), na escala 1:50.000, referente à cartografia da Divisão de Serviços Geográficos do Exército (DSG);

iii) base vetorial de curvas de nível, com equidistância vertical de 1 metro, da área urbana de Igrejinha, disponibilizadas pela Prefeitura Municipal de Igrejinha;

iv) séries históricas de precipitação de postos pluviométricos disponíveis no portal HIDROWEB, da Agência Nacional de Águas;

v) imagens de satélite QuickBird, com alta resolução espacial (0,6 metros);

vi) mapa de uso e ocupação do solo gerado através da imagem orbital Landsat 5 (TM);

vii) softwares IPHS1, ArcGIS 9.3, MatLab R2010a.

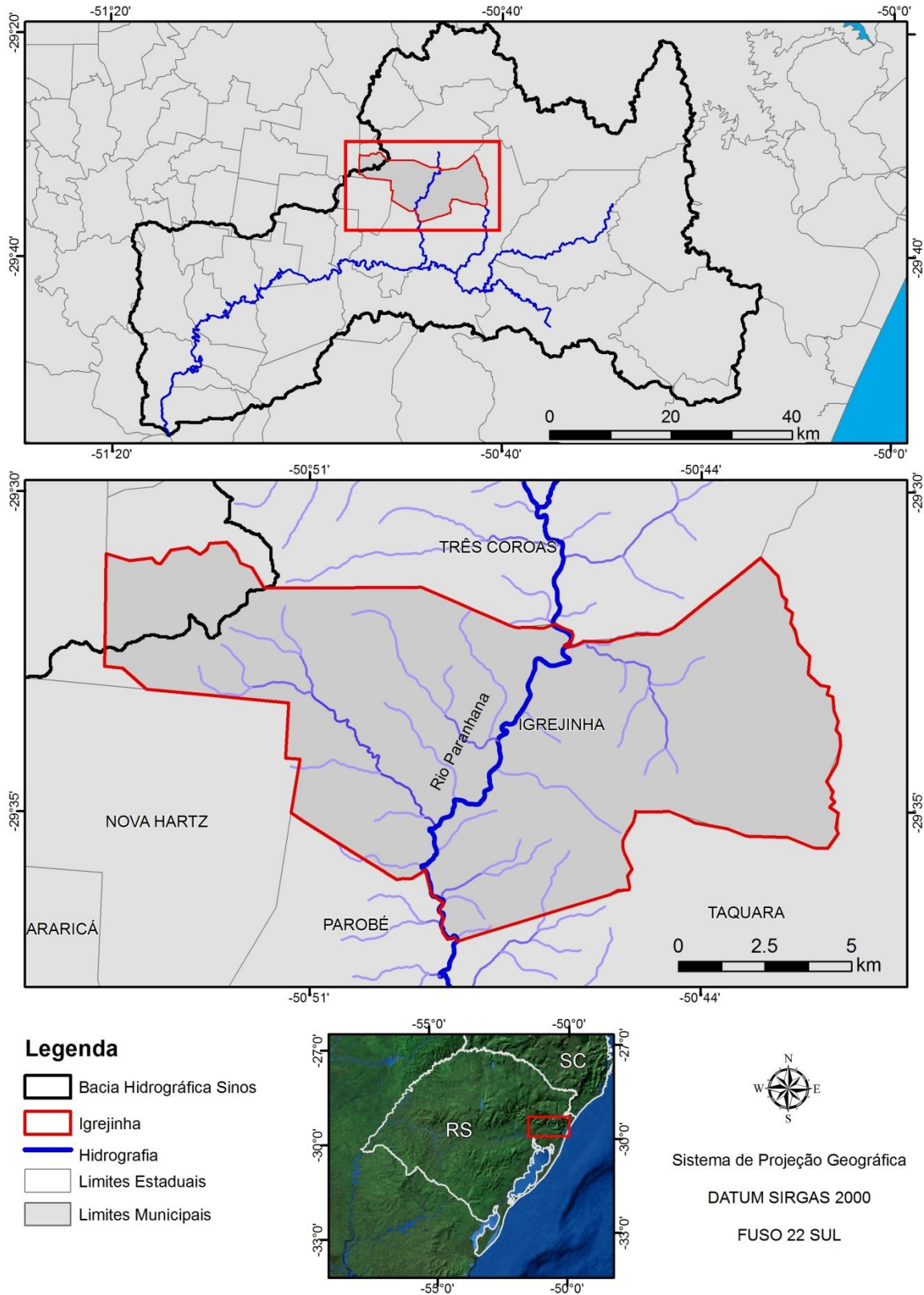
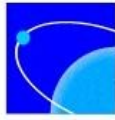


Figura 1 - Localização do Município de Igrejinha na bacia do rio dos Sinos - RS.

2.3. Métodos

2.3.1. Hietograma de projeto

A primeira etapa consistiu na geração de hietogramas de projeto associados a TRs de 5 a 100 anos, a partir de uma equação do tipo i-d-f (intensidade-duração-frequência). De acordo com Bertoni e Tucci (2007), o hietograma de projeto consiste em uma sequência de precipitações que desencadeia em uma cheia de projeto. O hietograma de projeto é utilizado tanto para o dimensionamento de obras hidráulicas, quanto para a definição das áreas suscetíveis às cheias para um determinado TR. Um dos métodos mais utilizados para a geração dos hietogramas de projeto é o método de Chicago, proposto por Keifer e Chu (1957), que se baseia nos parâmetros da equação i-d-f.

As equações do tipo i-d-f são mundialmente utilizadas para determinação de totais pluviométricos em eventos extremos. Neste tipo de equação, a variável intensidade (i) é uma função da duração da chuva (d) e da frequência (f), esta última relacionada ao TR. Em locais onde não estão disponíveis séries pluviográficas consistentes, pode-se adotar uma equação i-d-f de um local próximo ou determinar uma equação a partir de dados pluviométricos, utilizando o método das relações de durações, que toma como referência a relação i-d-f de um posto localizado nas proximidades do local de interesse (Bertoni e Tucci, 2007).

Os dados de precipitação utilizados nesse trabalho foram obtidos a partir da metodologia utilizada por Brubacher et al. (2012) e Oliveira et al. (2012), a qual consistiu em interpolar espacialmente as chuvas diárias de todas as estações pluviométricas disponíveis em um raio de 100 km da bacia, totalizando 84 postos pluviométricos (Figura 2), pelo método do inverso da distância ao quadrado, com a utilização do software MatLab. Esse processo foi realizado de modo a se obter dados de chuva para toda a bacia hidrográfica do rio dos Sinos, e se fez necessário devido à escassez de postos pluviométricos na bacia.

Em seguida, foi extraída uma série de precipitação média diária para a área de influência do rio Paranhana, a partir da qual foi possível estimar, através do ajuste da distribuição de probabilidades de Gumbel (indicada para valores extremos), o valor da precipitação máxima diária referente a TRs de 5 a 100 anos. Para extrapolar os valores de

precipitação máxima para menores durações de chuva foi utilizado o método das relações de durações com referência ao pluviógrafo localizado em Caxias do Sul. Sendo assim, admitiu-se que a mesma relação observada em Caxias do Sul, entre as magnitudes das precipitações de diferentes durações, é observada na área de influência da bacia do rio Paranhana. Com isso, ajustou-se uma equação do tipo i-d-f para a bacia do Paranhana (Equação 1).

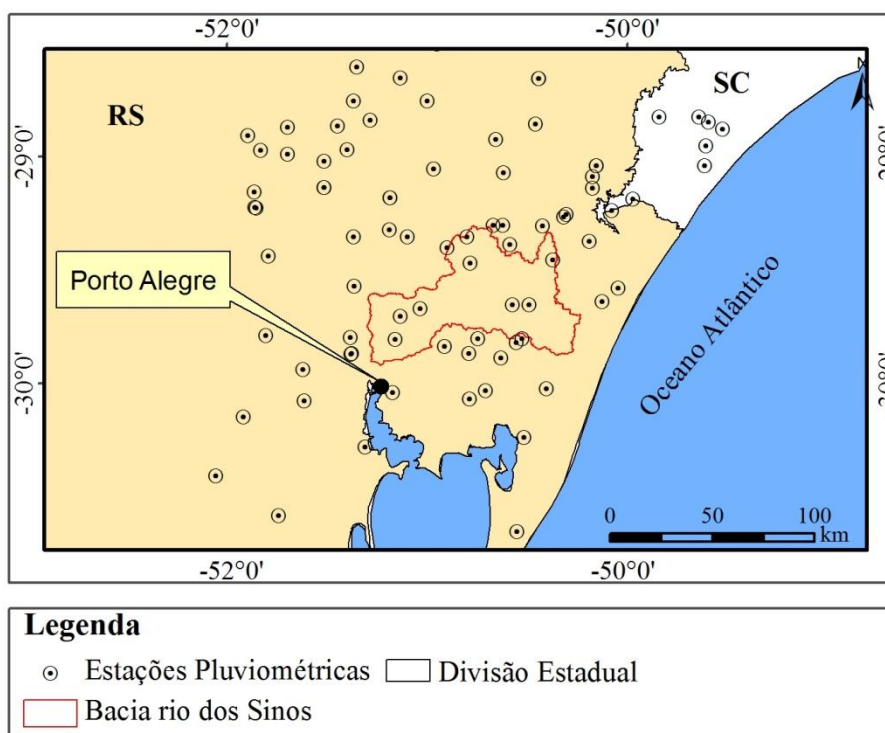


Figura 2 - Localização dos pontos pluviométricos em relação à bacia do rio dos Sinos.

$$i = \frac{1093,6 TR^{0,1604}}{(d + 19,802)^{0,782}} \quad (1)$$

Onde: i é a intensidade da precipitação em mm/h; TR é o tempo de retorno em anos; d é a duração do evento de precipitação em minutos.

Para a geração do hietograma de projeto, foi utilizado o método de Chicago. Neste método, os fatores mais importantes que caracterizam a distribuição temporal da precipitação são: i) o volume de precipitação durante o período de chuva intensa (obtida

através da aplicação do método da relação das durações); ii) a precipitação antecedente; iii) a posição do pico de intensidade máxima. A Figura 3 ilustra estes aspectos do hietograma.

Neste trabalho, a duração (d) do evento de precipitação foi considerada como igual ao tempo de concentração (tc) da bacia do rio Paranhana (considerando a aplicação da Equação de Kirpich - Equação 2), com discretização temporal de 5 minutos (Δt). A posição do pico (λ) foi definida como 0,5d, isto é, ocorrendo na metade da duração da chuva.

$$t_c = 57 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad (2)$$

Onde: t_c é o tempo de concentração em minutos; L é o comprimento do rio principal em km; H é o desnível altimétrico em m.

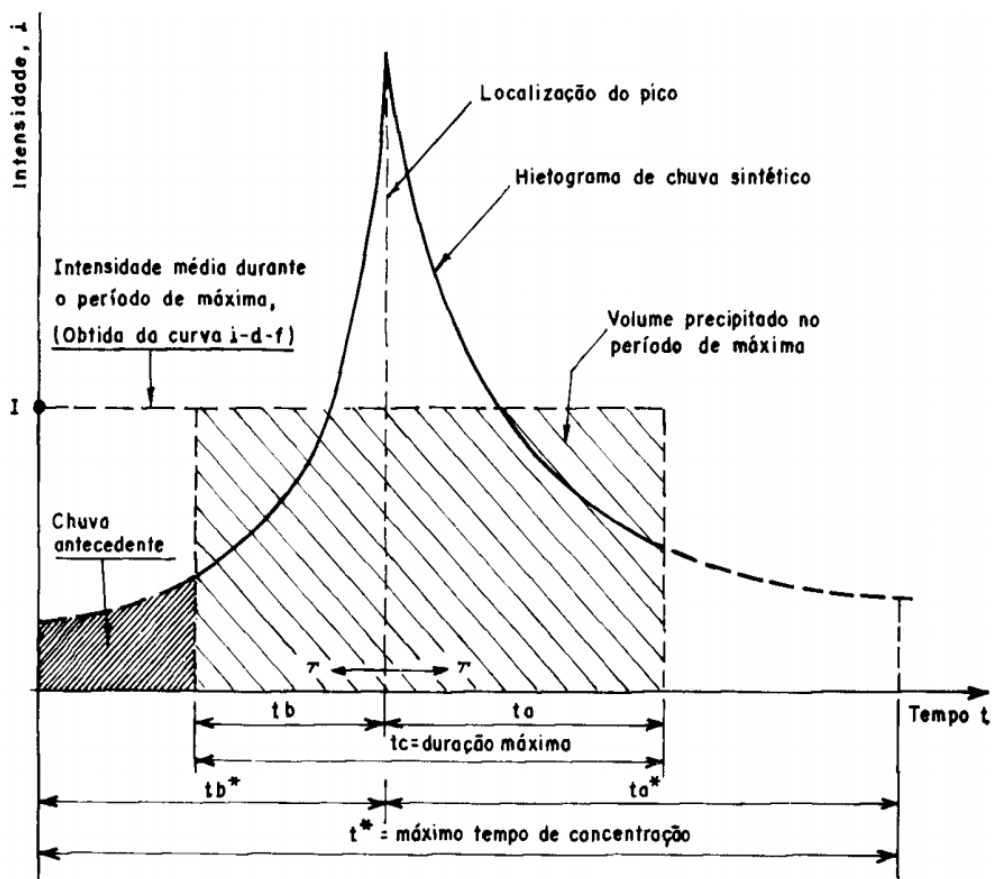
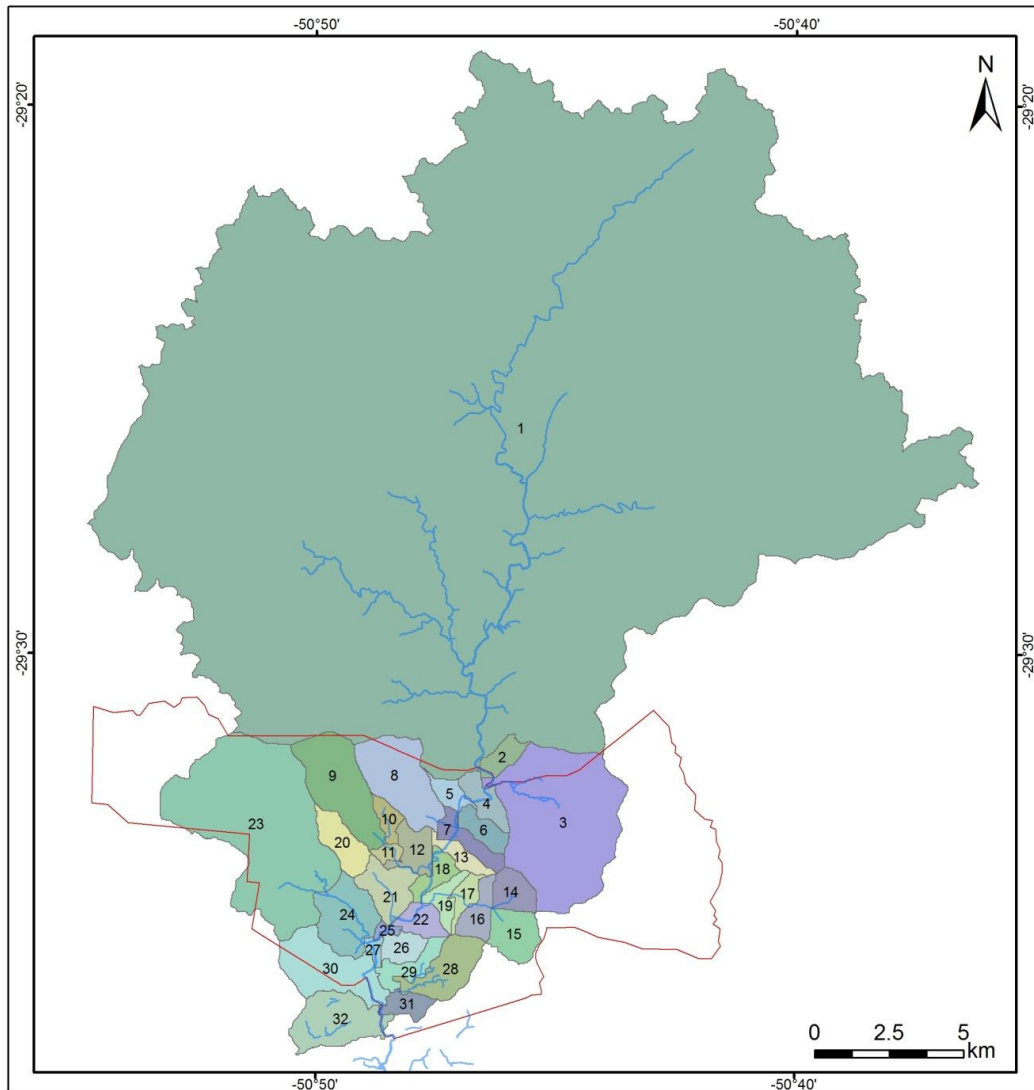
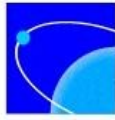


Figura 3 - Características do hietograma definido pelo método de Chicago. Fonte: Bertoni e Tucci (2007).

2.3.2. Representação hidrológica e extração de parâmetros para modelagem

A segunda etapa compreendeu a escolha da representação mais adequada para a bacia hidrográfica do rio Paranhana para a modelagem hidrológica, seguida da extração dos parâmetros de entrada dos modelos. Esta etapa, portanto, consistiu na subdivisão da bacia do rio Paranhana em sub-bacias e no fracionamento do rio principal (rio Paranhana) em segmentos de drenagem menores no software ArcGIS 9.3. O modelo hidrológico chuva-vazão aplicado às sub-bacias é do tipo concentrado, isto é, oferece resultados de vazão somente na saída das sub-bacias. A área de estudo foi dividida em 32 sub-bacias, sendo 13 de montante e 19 de contribuição (Figura 4).



Legenda		
Igrejinha	11, Arroio Voluntário 2	23, Arroio Solitário Montante
Sub-Bacias	12, Arroio Voluntário 3	24, Arroio Solitário 1
1, Paranhana Montante	13, Contribuição Lateral 6	25, Contribuição Lateral 9
2, Contribuição Lateral 1	14, Arroio Koetz montante 1	26, Bacia Montante
3, Arroio Kampf	15, Arroio Koetz montante 2	27, Contribuição Lateral L 10
4, Contribuição Lateral 2	16, Arroio Koetz 1	28, Arroio Além
5, Contribuição Lateral 3	17, Arroio Koetz 2	29, Contribuição Lateral 11
6, Contribuição Lateral 4	18, Contribuição Lateral 7	30, Arroio Sanga Funda
7, Contribuição Lateral 5	19, Arroio Koetz 3	31, Contribuição Lateral 12
8, Arroio Renk	20, Arroio Nicolau montante	32, Contribuição Lateral 13
9, Arroio Voluntário montante	21, Arroio Nicolau 1	
10, Arroio Voluntário 1	22, Contribuição Lateral 8	

Figura 4 - Sub-bacias com contribuição no município de Igrejinha.

Já nos segmentos (trechos) de drenagem, um modelo de propagação da onda de cheia foi utilizado, sendo possível estimar a vazão e cota de pico, de entrada e de saída no

trecho. Ao todo, foram delimitados 19 segmentos de drenagem, conforme pode ser observado no esquema representado pela Figura 5. A representação teve como referência os dados altimétricos obtidos pela missão SRTM e foi realizada utilizando ferramentas do software IPHS1.

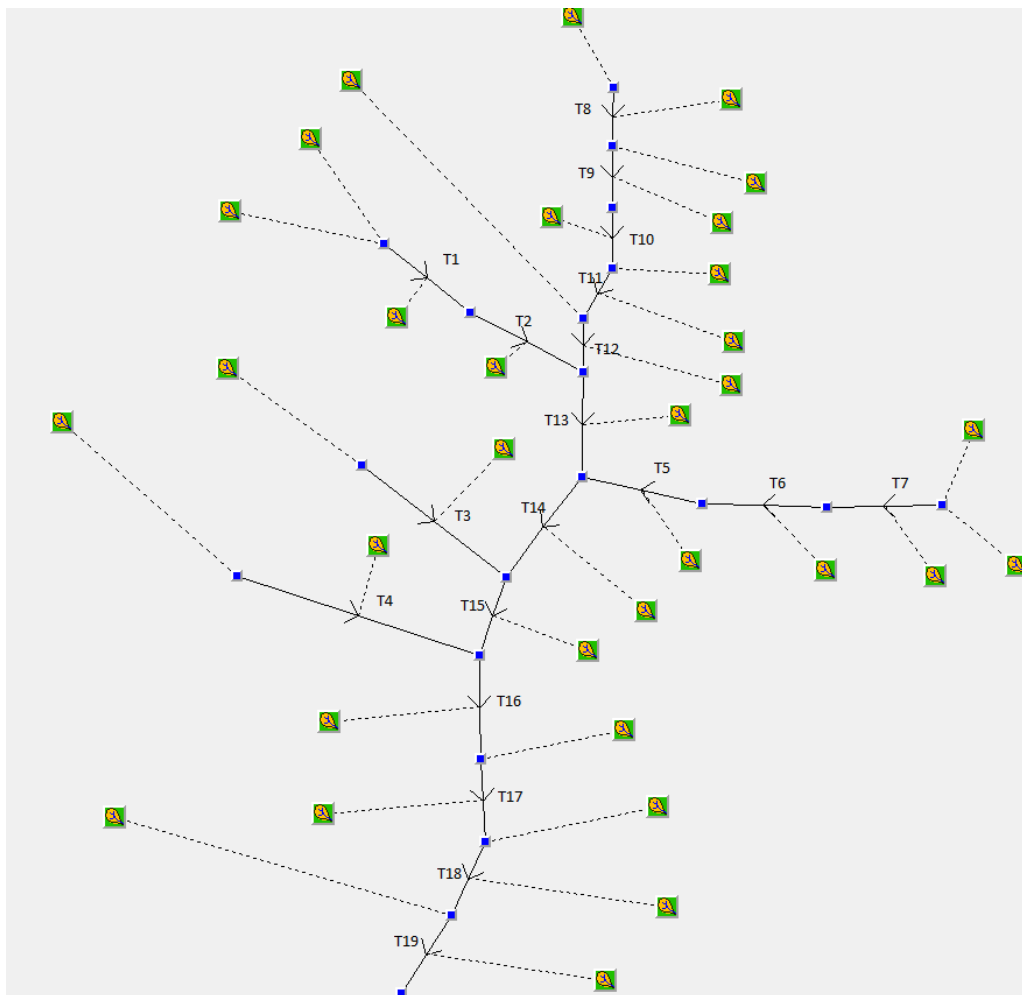


Figura 5 - Representação esquemática da bacia do Paranhana para a modelagem hidrológica no software IPHS1.

Uma vez delimitadas as sub-bacias e os segmentos de drenagem, foram estimados os parâmetros físicos destas feições. No módulo de sub-bacias, o modelo chuva-vazão utilizado foi o SCS. Este modelo necessita dos seguintes parâmetros para a simulação: área

de drenagem (A); comprimento do rio principal (L); desnível altimétrico (H); tempo de concentração (t_c); *Curve Number* (CN).

Os quatro primeiros parâmetros foram obtidos a partir de informações morfométricas extraídas a partir dos dados SRTM-TOPODATA. O último parâmetro, o CN, foi obtido através do cruzamento entre o uso e ocupação do solo e o tipo de solo. Resulta em um coeficiente que varia de 1 a 100, desde coberturas altamente permeáveis até coberturas totalmente impermeáveis, e foi tabelado por SCS (1975). Além da publicação original, tabelas traduzidas com valores de CN para áreas urbanas ou áreas agrícolas podem ser encontradas em Tucci (1998; 2007). Este índice é fundamental no modelo, pois define o armazenamento de água no solo (Tucci, 1998), influenciando diretamente nas perdas iniciais por infiltração, o que resulta na precipitação efetiva que gera o escoamento superficial.

Já no módulo dos segmentos de drenagem foram estimados os seguintes parâmetros, correspondente ao modelo Muskingum-Cunge: extensão do canal/rio (EXT); cota do canal à montante (CtM); cota do canal à jusante (CtJ); profundidade do canal (Z); largura média do canal (B); coeficiente de rugosidade de Manning (R); altura da planície de inundação (Z1); largura média da planície de inundação (B1); coeficiente de rugosidade da planície de inundação (R1). As variáveis EXT e B foram obtidas a partir da vetorização sobre a imagem orbital de alta resolução espacial QuickBird. Os valores de CtM, CtJ, Z1 e B1 foram calculados no ArcGIS 9.3, a partir dos dados altimétricos SRTM e das curvas de nível com equidistância de 1 metro. Para a calha dos rios foi adotado um coeficiente de rugosidade igual a 0,045 e para as planícies de inundação o valor foi de 0,07.

2.3.3. Modelo chuva-vazão SCS

A terceira etapa consistiu na modelagem hidrológica das sub-bacias. O modelo do tipo chuva-vazão utilizado foi o SCS, apresentado pelo *Soil Conservation Service* (SCS, 1975). Trata-se de um modelo hidrológico concentrado, específico para a transformação da precipitação em vazão nas sub-bacias da área de estudo, gerando, na foz de cada uma delas, um hidrograma de saída. De acordo com Tucci (1998), este método é muito utilizado para a simulação de hidrogramas de cheias de projeto de obras hidráulicas e para a determinação das áreas inundáveis em decorrência de fortes chuvas.

O modelo SCS realiza a transformação da chuva em vazão na saída das sub-bacias, com base em uma equação empírica que calcula as perdas por evapotranspiração e por infiltração, utilizando um parâmetro (CN) definido pelo uso e cobertura do solo (Equações 3 e 4). A propagação superficial do volume gerado pela separação do escoamento é realizada através de um hidrograma unitário sintético triangular. As Equações 5 e 6 determinam a vazão máxima e o tempo de pico.

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{P + S - I_a} \quad (3)$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (4)$$

$$q = \frac{2,08 \cdot A}{\frac{D}{2} + t_p} \quad (5)$$

$$t_p = \frac{2,6 L^{0,8} \cdot \left(\frac{S}{25,4} + 1\right)^{0,7}}{1900 \cdot y^{0,5}} \quad (6)$$

Onde: Q é o volume superficial acumulado em mm; P é a precipitação total acumulada em mm; I_a são as perdas iniciais, estimado em $0,2S$; S é o armazenamento do solo; q é a vazão máxima em m^3/s ; A é a área de drenagem em km^2 ; D é o intervalo de tempo em horas; t_p é o tempo de pico em horas; L é o comprimento hidráulico em m; y é a declividade em porcentagem.

2.3.4. Modelo de propagação de vazões Muskingum-Cunge

O modelo Muskingum, desenvolvido por McCarthy (1939), é um modelo de escoamento em rios do tipo armazenamento. Estes modelos utilizam a equação da continuidade concentrada (Equação 7) e uma relação entre o armazenamento e a vazão de saída e entrada do trecho, para simular o escoamento no rio (Tucci, 1998).

$$\frac{dS_t}{dt} = I_t - Q_t + Q_l \quad (7)$$

Onde: I_t é o hidrograma de entrada; Q_t é o hidrograma de saída; Q_l é a contribuição lateral de todo o segmento de rio.

O modelo Muskingum-Cunge é uma adaptação do modelo Muskingum com a estimativa de parâmetros proposta por Cunge (1969), transformando-o em um modelo de difusão. A modificação do hidrograma, em função do deslocamento à jusante, se deve à variação das seções do rio (morfologia) e dos efeitos das forças dinâmicas envolvidas (Tucci, 1998). A solução numérica do modelo Muskingum produz um amortecimento numérico artificial devido a sua discretização. A fórmula resultante é apresentada pelas Equações 8 e 9.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + c \frac{\partial Q}{\partial x} = D \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} \quad (8)$$

$$D = (0,5 - X)c\Delta x \quad (9)$$

Esta difusão numérica é que proporciona o amortecimento na onda simulada. Cunge (1969) igualou a difusão numérica ao valor de D obtido através da equação de difusão real, o que transforma o modelo de Muskingum em um modelo de difusão (Tucci, 1998). Os parâmetros X e K podem ser expressos pelas Equações 10 e 11. A Equação 12 determina o Δx , que por não ser linear, é resolvida por um procedimento iterativo, com primeira tentativa expressa pela Equação 13. O valor de Q_0 foi estimado em 2/3 da vazão máxima de montante e a celeridade (c) foi obtida pela equação da celeridade cinemática (Equação 14), utilizando a equação de Manning (Equação 15).

$$X = 0,5 \left(1 - \frac{Q_0}{b_0 S_0 c_0 \Delta x} \right) \quad (10)$$

$$K = \frac{\Delta x}{c_0} \quad (11)$$

$$\Delta x = \frac{Q_0}{b S_0 c_0} + 0,8 (c \Delta t)^{0,8} (\Delta x)^{0,2} \quad (12)$$

$$\Delta x = \frac{2,5 Q_0}{b S_0 c_0} \quad (13)$$

$$c = \frac{dQ}{dA} \quad (14)$$

$$c_0 = \frac{5 S_0^{0,3} Q_0^{0,4}}{3 n^{0,6} b^{0,4}} \quad (15)$$

2.3.5. Simulação hidrológica de eventos extremos

Neste estudo, foram simulados apenas eventos extremos de precipitação com TRs de 10, 50 e 100 anos. A simulação hidrológica foi realizada no software IPHS1, no qual foi inserida a representação das sub-bacias e dos segmentos de rio e os parâmetros de entrada dos dois modelos hidrológicos utilizados. Basicamente, no aplicativo utilizado, os dois modelos (SCS e Muskingum-Cunge) são executados em conjunto. Os hidrogramas de saída das sub-bacias, calculados pelo método SCS, se tornam a entrada dos trechos de rio, e a propagação entre os trechos de rio é modelada pelo método Muskingum-Cunge. Deste modo, em cada trecho de rio é gerado um hidrograma de saída também, incluindo informações sobre a velocidade de propagação da onda de cheia.

2.3.6. Estimativa de cota atingida nas seções transversais

Uma vez que, através da modelagem hidrológica, são obtidos os valores de vazão (Q) e de velocidade de escoamento (v), em função do tempo (t), é possível calcular a área da seção transversal "molhada" (A_s) a partir da Equação 16.

$$A_{s_t} = \frac{Q_t}{v_t} \quad (16)$$

Sabendo-se a área molhada da seção transversal, a cota atingida (C) pode ser obtida através do perfil das seções transversais. Para cada trecho de rio foi gerado um perfil transversal com base nas informações altimétricas da Prefeitura de Igrejinha (equidistância vertical das curvas de 1 metro) e da missão SRTM (apenas em locais sem dados de alta resolução espacial). A estimativa de cota atingida foi realizada no MatLab R2010a.

2.3.7. Espacialização das áreas suscetíveis às inundações

Na última etapa, foi realizado o mapeamento das áreas inundáveis nos três cenários simulados (TRs de 10, 50 e 100 anos). A espacialização foi realizada no software ArcGIS 9.3, através de ferramentas de edição vetorial.

Uma vez conhecida a cota atingida em cada um dos 19 trechos de rio modelados, fez-se uma interpolação espacial entre os pontos com cotas conhecidas. Assim, foi possível delimitar de modo contínuo as áreas de inundação nos eventos extremos de precipitação, com TRs de 10, 50 e 100 anos.

Foi definido o seguinte critério para a classificação de suscetibilidade: i) as áreas atingidas com recorrência de 10 anos apresentam alta suscetibilidade às inundações; ii) as áreas atingidas por inundações com TR entre 10 e 50 anos apresentam média suscetibilidade às inundações; iii) as áreas atingidas por inundações com recorrência entre 50 e 100 anos apresentam baixa suscetibilidade.

3. Resultados e discussões

3.1. Características da precipitação de projeto

Conforme a descrição realizada no item referente aos materiais e métodos, foram gerados três hietogramas de projeto, para precipitações extremas com recorrência de 10, 50 e 100 anos. A Figura 6 apresenta um gráfico com os três hietogramas sobrepostos.

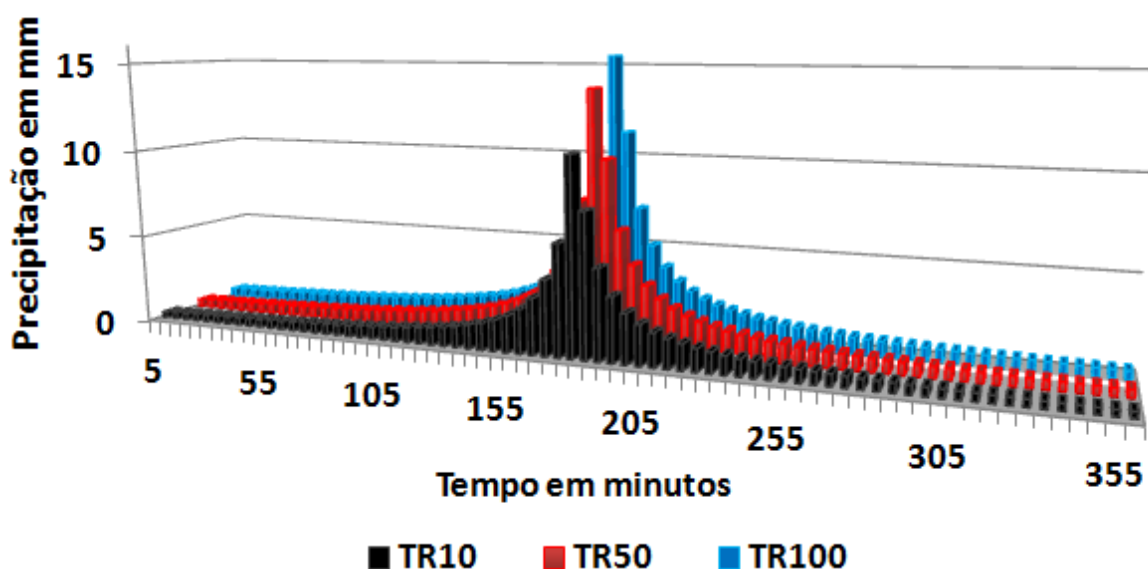


Figura 6 - Hietogramas de projeto para a bacia do rio Paranhana, TRs de 10, 50 e 100 anos.

No primeiro evento simulado, referente às cheias que ocorrem mais frequentemente (a cada dez anos), a lâmina total precipitada foi de 91,2 mm em apenas seis horas de duração, o que indica uma intensidade de 15,2 mm/h durante o evento. Este valor foi obtido com base na equação i-d-f calibrada para a região de estudo (Equação 1).

A discretização temporal (Δt) adotada nos hietogramas de projeto foi de cinco minutos, assim a cada intervalo de tempo tem-se um bloco de chuva (Figura 6). O bloco com maior lâmina precipitada ocorreu no meio do evento (posição do pico: 0,5d), com 10,7 mm precipitados em apenas cinco minutos, perfazendo uma intensidade de 128,4 mm/h neste intervalo de tempo.

No segundo evento, com TR de 50 anos, a lâmina total precipitada foi de 118,1 mm em seis horas de duração, indicando uma intensidade de 19,7 mm/h durante o evento. O bloco com maior lâmina precipitada ocorreu no meio do evento, com 13,9 mm precipitados em apenas cinco minutos, ou seja, com intensidade de 166,8 mm/h neste intervalo de tempo.

No último evento, com TR de 100 anos, a lâmina total precipitada foi de 132 mm, considerando a mesma duração dos eventos anteriores, perfazendo uma intensidade de 22 mm/h durante o evento. O bloco com maior lâmina precipitada ocorreu no meio do evento, com 15,5 mm precipitados em apenas cinco minutos, o que indica uma intensidade de 185,9 mm/h neste intervalo de tempo. Nos 30 minutos de maior intensidade da precipitação obteve-se uma lâmina total acumulada de 53,9 mm.

3.2. Espacialização das áreas suscetíveis às inundações

Neste item são apresentados os principais resultados obtidos quanto à modelagem hidrológica e ao mapeamento das áreas suscetíveis às inundações, considerando os hietogramas de projeto apresentados anteriormente, com TRs de 10, 50 e 100 anos. A Figura 7 apresenta as áreas suscetíveis às inundações do rio Paranhana, em Igrejinha, e seus principais afluentes com recorrência entre 10 e 100 anos.

A primeira consideração que se pode colocar ao observar a Figura 7 se refere ao fato de haver pouca diferença entre as manchas de inundação referentes aos TRs de 10 e de 100 anos. Isto se deve provavelmente às características morfométricas do vale do rio Paranhana, que se apresenta com vales bastante encaixados. A precipitação com recorrência de dez anos já provoca uma cheia com magnitude suficiente para que as águas atinjam os limites da planície de inundação. Assim, mesmo aumentando a vazão de pico em um cenário de chuva mais crítica (TR de 100 anos), a área inundada não se eleva consideravelmente.

Esta constatação pode ser comprovada com o cálculo de área atingidas pelas águas. Para um evento de precipitação com TR de 10 anos, a área do município de Igrejinha atingida pelas cheias é de 1.010 hectares. No caso mais extremo simulado, com TR de 100 anos, esta área cresce para 1.105 hectares, um aumento de 9,5% na mancha de inundação

na área municipal. No evento intermediário, com TR de 50 anos, a área inundada é de 1.072 hectares.

Na porção a montante do rio Paranhana, no limite norte do município de Igrejinha, o pico do escoamento superficial no evento com TR de 100 anos é muito superior ao gerado pela precipitação de mesma duração, com frequência de 10 anos (Figura 8). No evento de maior frequência, o escoamento superficial não chega a atingir 1.200 m³/s, enquanto que para uma precipitação com TR de 100 anos, os valores superam 2.100 m³/s.

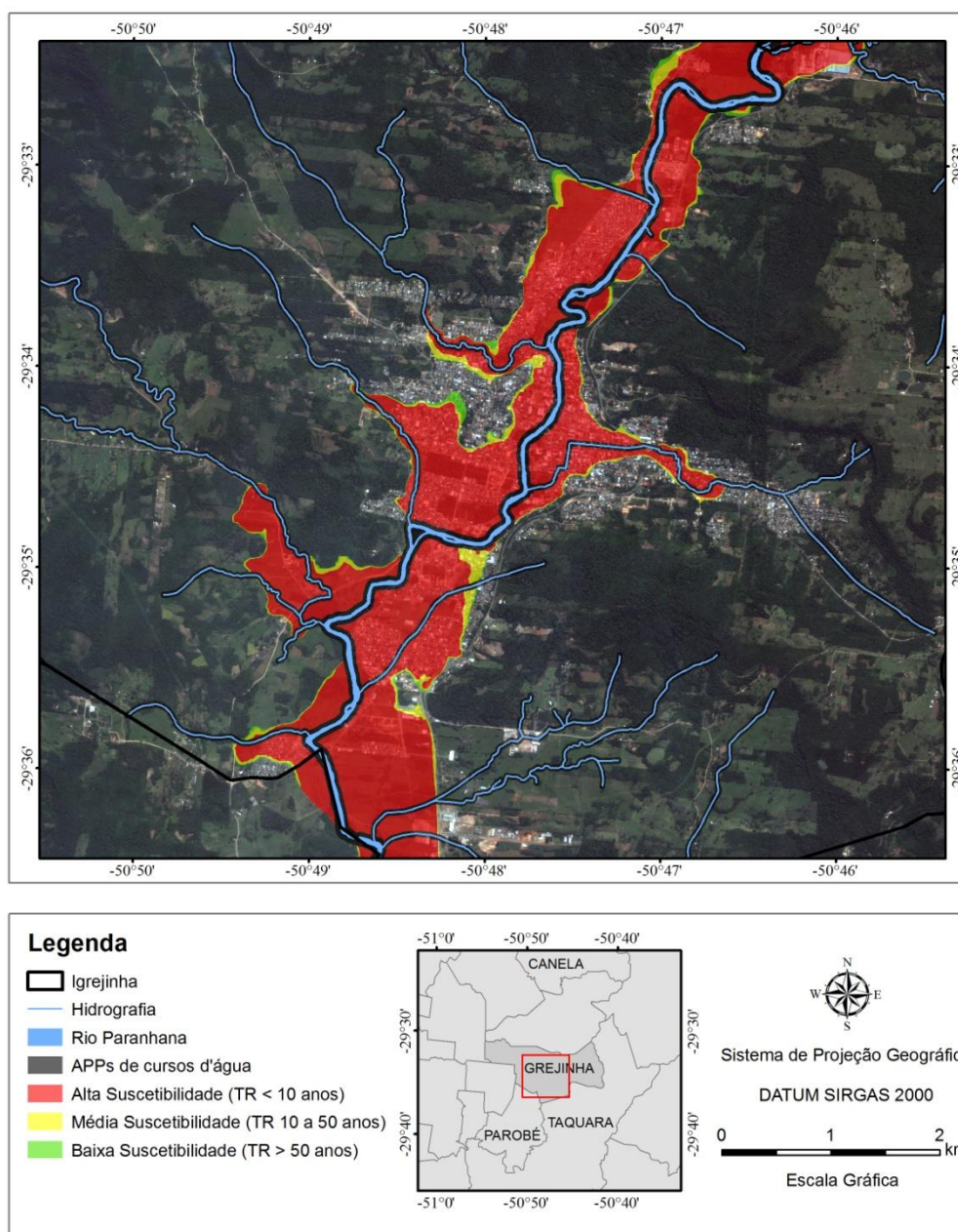


Figura 7 – Espacialização das áreas suscetíveis às inundações em Igrejinha, RS, no vale do rio Paranhana.

Além disto, como pode ser observado na Figura 8, o pico do escoamento superficial e, conseqüentemente, das cheias no Paranhana neste local, ocorre cerca de cinco horas após o início da chuva, isto é, apenas duas horas após o pico da precipitação. Isto implica em dificuldades adicionais no que se à remoção da população residente em áreas suscetíveis, pois o tempo de antecedência para qualquer ação é bastante restrito. Porém, por outro lado, em poucas horas (aproximadamente seis horas após o término das chuvas) ocorre o fim do escoamento superficial, indicando que o escoamento apresenta também uma rápida recessão.

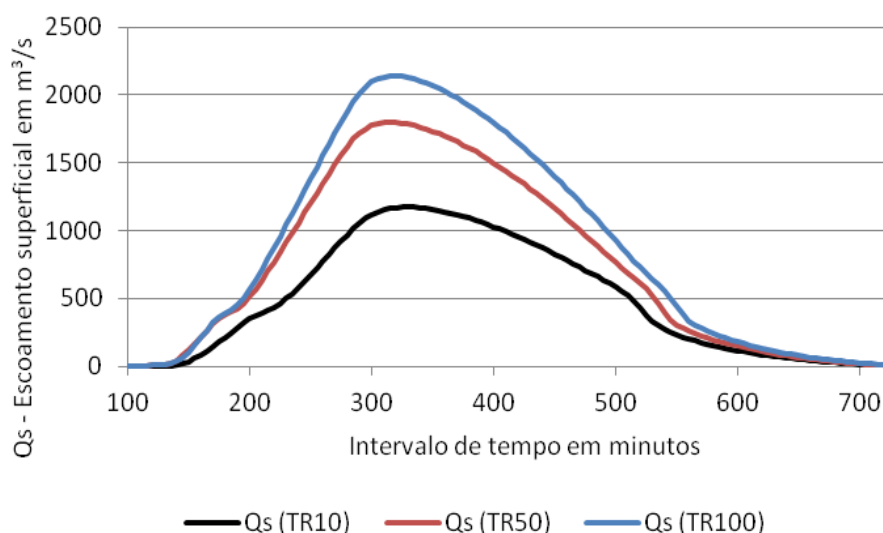


Figura 8 – Hidrogramas do rio Paranhana, porção norte de Igrejinha, com base em precipitação com TRs de 10, 50 e 100 anos.

Na porção central de Igrejinha, mais a jusante no rio Paranhana, o pico do escoamento superficial no evento com TR de 100 anos ocorre cerca de 20 minutos após o término da precipitação, com valores que atingem 2.090 m^3/s (Figura 9). Neste evento, a ascensão do hidrograma é bem mais rápida do que nos eventos de menor magnitude. No evento de maior frequência (TR de 10 anos), o escoamento superficial atinge 1.120 m^3/s , com pico de cheia ocorrendo mais de uma hora após o término da precipitação.

Na foz do arroio Koetz, um dos principais afluentes do rio Paranhana, o pico do escoamento superficial nos três eventos extremos de precipitação simulados acontece quase simultaneamente ao pico das chuvas. Isto ocorre por se tratar de uma sub-bacia de baixo tempo de concentração, com pequena área e grande desnível altimétrico do rio principal. Assim, nesta localidade, ações de remoção da população possivelmente atingida por algum evento são ainda mais difíceis, pois o tempo de resposta é muito curto.

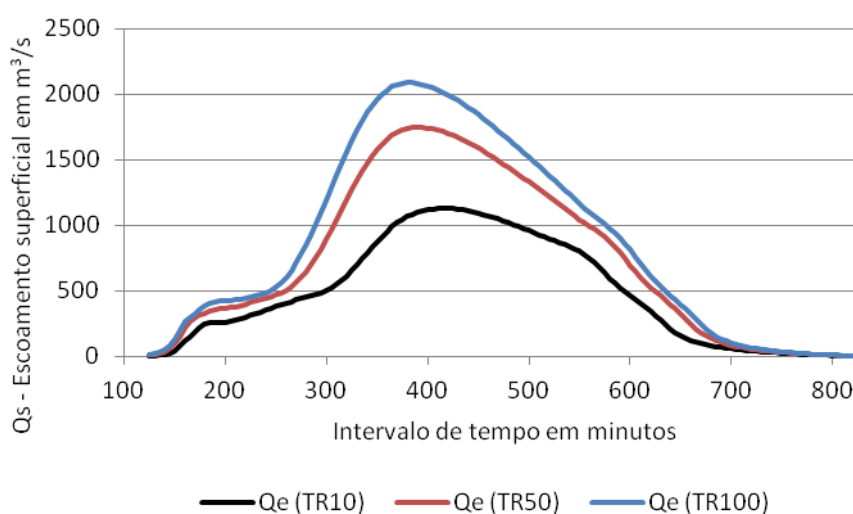


Figura 9 – Hidrogramas do rio Paranhana, porção central de Igrejinha, com base em precipitação com TRs de 10, 50 e 100 anos.

O pico do escoamento superficial atinge, considerando os TRs de 10, 50 e 100 anos, aproximadamente 80 m³/s, 123 m³/s e 149 m³/s, respectivamente. O fim do escoamento superficial ocorre pouco mais de uma hora após o término da precipitação. A Figura 10 ilustra os três hidrogramas deste ponto.

Já na foz do arroio Solitária, outro importante afluente do rio Paranhana, o pico do escoamento superficial nos três eventos extremos de precipitação simulados acontece pouco mais de 30 minutos após o pico da precipitação, indicando uma rápida resposta hidrológica (Figura 11). O pico do escoamento superficial, considerando os TRs de 10, 50 e

100 anos, foi de 186 m³/s, 289 m³/s e 347 m³/s, respectivamente. O fim do escoamento superficial ocorre duas horas após o término da precipitação.

Por fim, no limite sul do município de Igrejinha, porção mais a jusante do rio Paranhana, o pico do escoamento superficial no evento com TR de 10 anos apresenta um atraso significativo, aproximadamente cinco horas após o término da precipitação, com valor de 990 m³/s. Além disto, a ascensão do hidrograma se dá de modo mais lento e gradual (Figura 12).

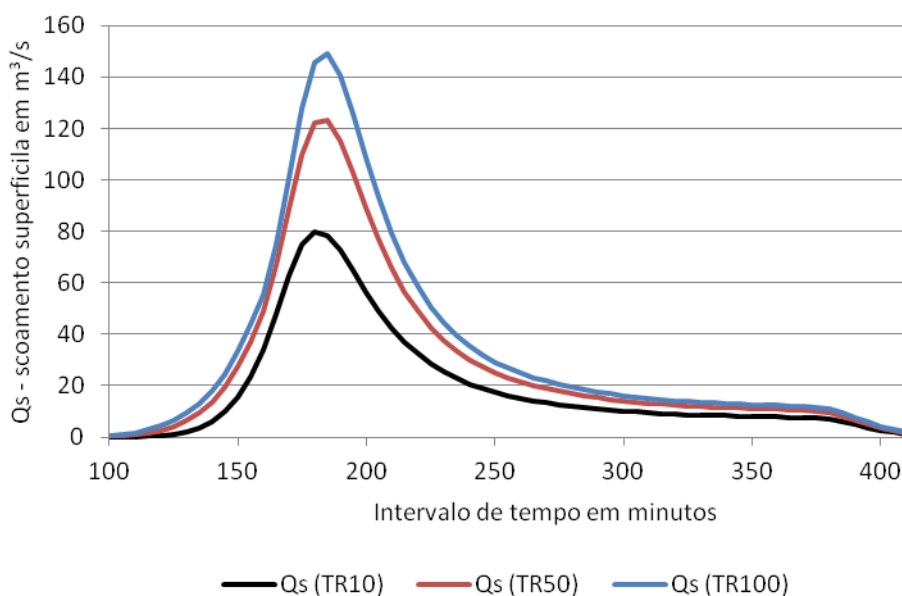


Figura 10 – Hidrogramas da foz do arroio Koetz, na porção central de Igrejinha, com base em precipitação com TRs de 10, 50 e 100 anos.

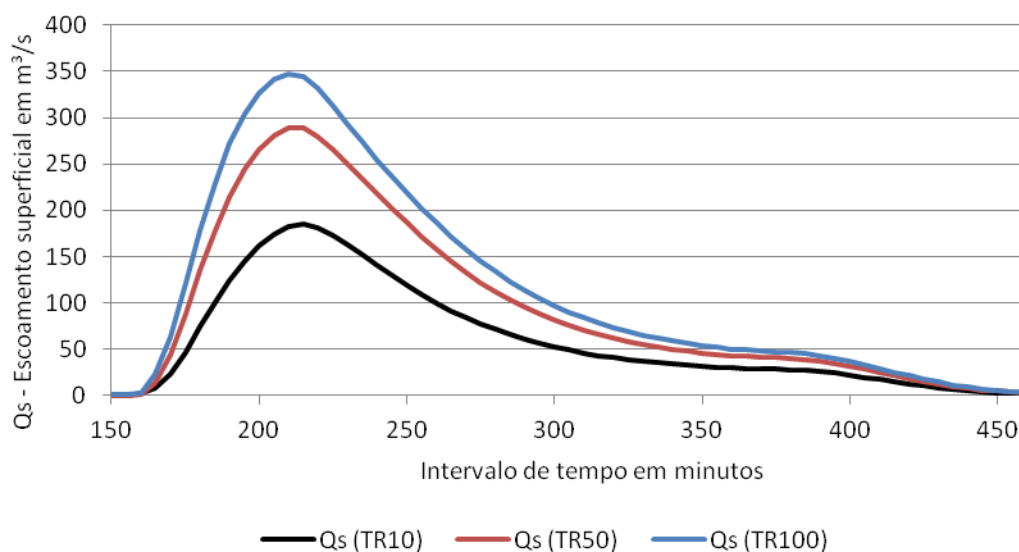


Figura 11 – Hidrogramas da foz do arroio Solitária, na porção sul do município de Igrejinha, com base em precipitação com TRs de 10, 50 e 100 anos.

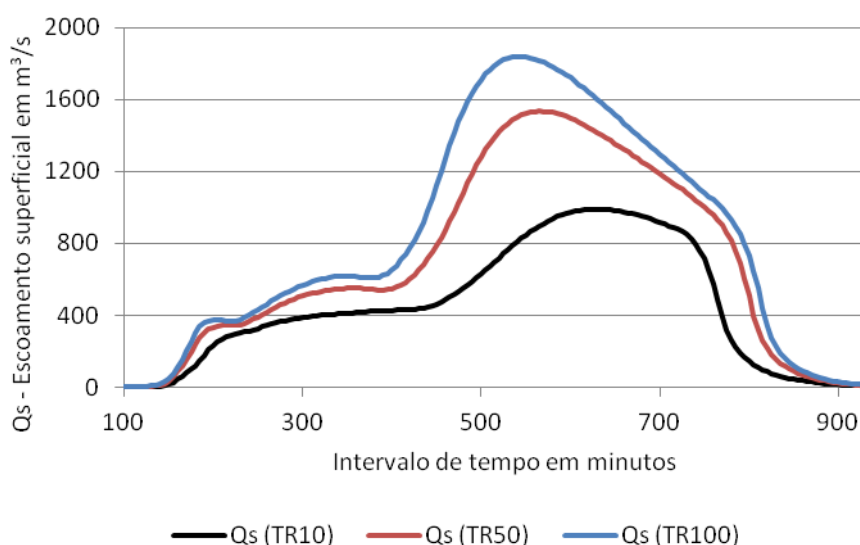


Figura 12 – Hidrogramas do rio Paranahana, no limite do município de Igrejinha ao sul, com base em precipitação com TRs de 10, 50 e 100 anos.

No evento de precipitação com recorrência de 50 anos, o pico do escoamento superficial ocorre quatro horas após o término da precipitação, com valor de 1.530 m³/s. Já no evento com TR de 100 anos, a ascensão do hidrograma ocorre do modo mais rápido, com pico apenas três horas após o término da precipitação e escoamento superficial de 1.840 m³/s no ápice da cheia (Figura 12).

Os hidrogramas sugerem as diferenças da dinâmica de escoamento entre os trechos relativos aos afluentes do rio Paranhana e os trechos relativos ao curso principal. O curto período de tempo entre o pico das chuvas e o pico de vazão nos trechos de contribuição do Paranhana, conforme exemplificado por meio dos hidrogramas dos arroios Koetz e Solitária (Figuras 10 e 11), demonstram a grande possibilidade de ocorrência de enxurradas. Nos outros hidrogramas, referentes ao rio Paranhana (Figuras 8, 9 e 12), o tempo de escoamento é mais demorado, assim como o tempo entre o pico da precipitação e o pico de vazão, propiciando uma elevação mais gradual do nível das águas.

4. Conclusões

Os eventos extremos de precipitação podem ter características e recorrências variáveis. No entanto, a modelagem hidrológica representando eventos com diferentes recorrências é fundamental para compreender a dinâmica desses eventos, principalmente no espaço urbano.

A partir da inundação resultante do procedimento metodológico, é possível visualizar a grande área urbana da cidade de Igrejinha que se encontra em uma área suscetível a inundações. A pequena diferença das áreas de inundação entre os TR 10, 50 e 100 anos acontecem devido às características de vale encaixado na qual se encontra o município, mas demonstram que mesmo um evento com tempo de recorrência relativamente pequeno (10 anos), já atinge grande parte da área central da cidade.

Por meio dos hidrogramas dos pontos utilizados como referências do comportamento da lâmina de água nos segmentos de drenagem, utilizados para a modelagem, é possível perceber, também, o rápido escoamento das águas nos trechos de contribuição ao rio Paranhana, o que favorece a ocorrência de enxurradas, enquanto no curso principal do rio o tempo de escoamento superficial é bem maior, o que acompanhado de elevado volume de água, no entanto, é um dos responsáveis pela grande mancha de inundação.

Referências

Alcántara-Ayala, I. Geomorphology, natural hazard, vulnerability and prevention of natural disasters developing countries. **Geomorphology**, v. 47, p. 107-124, 2002.

Bertoni, J.C.; Tucci, C.E.M. Precipitação. In: Tucci, C.E.M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ANRH, 2007. Cap. 5, p. 177-242.

Brubacher, J. P., Oliveira, G. G.; Guasseli, L. A. Suscetibilidade de enchentes a partir da análise das variáveis morfométricas na bacia hidrográfica do rio dos Sinos/RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15. (SBSR), 2011, Curitiba. Anais... São José dos Campos: INPE, 2011. p. 1863-1870. 1 DVD. ISBN: 978-85-17-00057-7.

Brubacher, J.P.; Oliveira, G.G.; Guasselli, L.A. Identificação e análise de eventos extremos de precipitação na bacia hidrográfica do rio dos Sinos/RS. In: Congresso Brasileiro sobre Desastres Naturais, 1., 2012, Rio Claro. **Anais...** 2012. p. 1-10, CD-ROM.

Castro, A.L.C. **Glossário de defesa civil, estudos de riscos e medicina de desastres**. 2 ed. Brasília: Ministério do Planejamento e Orçamento, 1998. 283 p.

CRED - CENTRE FOR RESEARCH ON THE EPIDEMIOLOGY OF DISASTERS. **The international disaster database (EM-DAT)**. 2012. Disponível em: <<http://www.emdat.br/database>>. Acesso em: 24.fev.2012.

Cunge, J. A. 1969. **“On the subject of flood propagation computation method (Muskingum method)**.

Hasenack, H.; Weber, E. (Org.). **Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul - escala 1:50.000**. Porto Alegre: UFRGS-IB-Centro de Ecologia, 2010. DVD-ROM (Série Geoprocessamento, 3).

IBGE. Banco Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sinopse do Censo Demográfico de 2010. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?lang=&codmun=431010&search=rio-grande-do-sul|igrejinha|infograficos:-dados-gerais-do-municipio>. Acesso em: 20.Mai.2013.

Keifer, C. J.; CHU, H. H. (1957) Synthetic Storm Pattern for Drainage Design. Journal of the Hydraulics Division , 83, H Y 5, p. 1332-1/1332-25.

Kobiyama, M.; Checchia, T.; Silva, R.V.; Schröder, P.H.; Grando, A.; Reginatto, G.M.P. 2004. Papel da comunidade e da universidade no gerenciamento de desastres naturais. In: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, 1. Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004. p. 834-846, CD-ROM.

Kobiyama, M.; Mendonça, M.; Moreno, D.A.; Marcelino, I.P.V.O.; Marcelino, E.V.; Gonçalves, E.F.; Brazetti, L.L.P.; Goerl, R.F.; Moller, G.S.F.; Rudorff, F.M. **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos**. Florianópolis: Ed. Organic Trading, 2006. 109 p.

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

LEI Nº 12.608, de 10 de Abril de 2012.

McCarthy, G. T. 1938. **“The unit hydrograph and flood routing.”** Proc. Conf. of North Atlantic Division, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC.

Marengo, J.A. 2010. **Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil**. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável – FBDS. Disponível em: <<http://www.fbds.org.br/fbds/IMG/pdf/doc-504.pdf>>. Acesso em: 23.fev.2012.

Oliveira, G.G. 2010. **Modelos para previsão, espacialização e análise das áreas inundáveis na bacia hidrográfica do rio Caí, RS**. 148 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, UFRGS, Porto Alegre. 2010.

Oliveira, G.G.; Valente, P.T.; Guasselli, L.A. Espacialização das áreas de inundação nos municípios de Igrejinha e Três Coroas, bacia hidrográfica do rio Paranhana/RS. In: Simpósio Nacional de Geomorfologia (SINAGEO), 9., 2012, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: UFRJ, 2012. Artigos, CD-ROM.

Oliveira, G. G. ; QUEVEDO, R. P. ; GUASSELLI, L. A. ; MENEZES, P. H. N. . Expansão urbana nas áreas inundáveis do rio Paranhana no município de Igrejinha/RS. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2013, Foz do Iguaçu. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. São José dos Campos: INPE, 2013. p. 920-927.

Prefeitura Municipal de Igrejinha. 2012. **Preposições de Medidas Estratégicas e Integradas para o Controle de Cheias do rio Paranhana**. Porto Alegre/RS.

Rossato, M. S. 2011. **Os Climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, Tendências e Tipologia**. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 253p

SCS, 1975. **Urban Hydrology for Small Waters heds**. 1975 Washington. U.S.Dept. Agr.(Technical Release.n.55).

Tucci, C. E. (1998). **Modelos Hidrológicos**. ABRH. Ed. da Universidade – UFRGS. Porto Alegre. 669p

Tucci, C.E.M.; Bertoni, J.C. (Org.) **Inundações urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003. 150 p.

UNESCO, 2012. **WORLD WATER DEVELOPMENT REPORT (WWDR4)**, 2012. Disponível em: <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/wwdr4-2012/>. **Acesso em 03.Set.2013**.

Valeriano, M. M. Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005, Goiânia, GO. Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005. p. 1-8.

Valeriano, M. M. (a) *Dados topográficos*. In: Teresa G. Florenzano. (Org.). *Geomorfologia - conceitos e tecnologias atuais*. 1 ed. São Paulo: Oficina de textos, 2008. v.1, p.72-104.

Valeriano, M. M. (b) *TOPODATA: Guia de utilização de dados geomorfométricos locais*. São José dos Campos: INPE, 2008. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/data/TDkrig.pdf>> Acesso em 9 nov. 2010.



LEVANTAMENTO GEOLÓGICO BÁSICO DA REGIÃO DO MUNICÍPIO DE IGREJINHA-RS

Norberto Dani, Nelson Amoretti Lisboa, Saulo Borsatto, Rafael Ribeiro

1 Apresentação

Este relatório abrange uma síntese da metodologia utilizada na realização dos estudos e do levantamento geológico e dos resultados alcançados com esses trabalhos na região do município de Igrejinha.

Inserido no vale do rio Paranhana, a cidade de Igrejinha é cercada por áreas de encostas com declividades variáveis e com características geológicas e estruturais diversificadas. O relevo do município possui uma grande variação de cotas, desde 20 m na sua porção junto ao vale do Rio Paranhana até valores superiores a 770 m a noroeste e norte do seu território. Observa-se no município relatos e situações de inundações frequentes e de movimentos de massa.

Nas encostas com declividade média e no vale do Rio Panhanana e tributários, ocorrem depósitos coluvionares e aluvionares que encobrem parcialmente as unidades geológicas aflorantes do Grupo São Bento da Bacia do Paraná no município. Nas porções com cotas mais baixas formando o substrato da cidade afloram os arenitos da Formação Botucatu. Em direção a porção norte afloram as rochas efusivas básicas seguida das rochas ácidas da Formação Serra Geral (Fácies Gramado e Fácies Caxias).

2 Base de Dados e Métodos Utilizados

O trabalho de investigação geológica compreende o levantamento bibliográfico para a determinação do nível de conhecimento geológico da região, a avaliação de mapas geológicos e cartas topográficas, aquisição de produtos de sensoriamento remoto (fotografias aéreas e imagens orbitais) seguidas de atividades de campo e de laboratório.



Para a confecção dos mapas geológicos inéditos nas escalas da região do município de Igrejinha, utilizou-se trabalhos desenvolvidos anteriormente que contemplassem a área de estudo como o Mapa Geológico do Rio Grande do Sul, publicado pela Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais em 2006, na escala 1:750.000 e o Mapa Geológico da Folha Gravataí, elaborado em 2008 pelo Programa Geologia do Brasil Contrato CPRM/UFRGS na escala 1:100.000. Estes mapas serviram como ponto de partida para o mapeamento do município.

Em laboratório e anteriormente aos trabalhos de campo foi realizada uma fotointerpretação preliminar da área de estudo com utilização de fotografias aéreas na escala 1:110000 (1975) 1:60000 (1964). Algumas das fotografias aéreas utilizadas estavam disponíveis na Mapoteca do Instituto de Geociências da UFRGS e outras foram fornecidas pela 1ª Divisão de Levantamento do Exército (1ª DL) – Porto Alegre. Nos trabalhos de detalhe utilizou-se fotografias na escala 1:8.000 (1989) do acervo da Prefeitura Municipal de Igrejinha. Todo o acervo de fotografias aéreas foi analisado, complementado por imagens de satélite e de radar através do SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) para observação do relevo do município (Rodriguez, E. et al. 2005).

As imagens orbitais escolhidas para o projeto provem dos sensores ASTER e ALOS (PRISM RPC e PALSAR) com potencial de discriminação de diferentes comprimentos de onda (visível, infravermelho e radar). O ASTER e o ALOS PRISM RPC possuem recursos de estereoscopia, indispensável para a interpretação geológica, refinando a separação das unidades geomorfológicas, geológicas e estruturais. O ALOS PALSAR permite uma melhor resolução para a observação de descontinuidades estruturais do terreno (alinhamentos).

Os estudos a partir das fotografias aéreas inicialmente se caracterizam pela identificação dos elementos da imagem (fotoleitura), análise de suas relações (fotoanálise) para finalmente chegar-se a avaliação do significado e função das feições constatadas (fotointerpretação) através de métodos indutivos, dedutivos e comparativos dos mesmos. Essa técnica envolve o reconhecimento de propriedades identificadas a partir do relevo, da drenagem, da vegetação e do uso do solo através da observação de variações na tonalidade, textura e padrões. Quando o estudo de aerofotointerpretação envolve um número relativamente grande de fotografias é necessário antes de iniciá-lo, elaborar-se uma carta de referência da distribuição das fotos a serem utilizadas. Esta carta de referência denominada



Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica



de Mapa Índice, foi elaborada a partir das facilidades oferecidas pela rotina GoogleEarth®, que permitiu a localização do centro de cada fotografia aérea, cuja coordenada geográfica ficou registrada em arquivos específicos.

As observações e interpretações das fotografias aéreas ocorrem a partir da formação do estereomodelo (modelo tridimensional do terreno), obtido devido ao recobrimento longitudinal existente entre duas fotografias aéreas verticais consecutivas. Quando corretamente orientadas e através de fenômenos de propagação da luz, apresentam a sensação do relevo na área que é comum as duas fotografias justapostas lateralmente. Isso permite aplicar as técnicas de interpretação visando à identificação dos elementos estruturais (lineamentos de médio e pequeno porte) e litológicos (limites ou contatos entre as diferentes litologias).

O método dos anaglifos que usa a propriedade física de absorção de cores complementares foi utilizado para a fotointerpretação em meio digital. A rotina para a obtenção do estereomodelo digital foi feita com o auxílio do programa PhotoMaker®. Após, os modelos foram ajustados ao terreno através de ferramentas de georreferenciamento existentes no ArcGis®.

No PhotoMaker® o procedimento inicia com as cópias digitais das fotos que formam o estereopar. Com as duas imagens visíveis na tela, inicia-se a identificação dos pontos homólogos em ambas as fotos que compõem o estereopar. Depois desta operação, aciona-se o comando “Create 3D Photo” para criar uma superposição das fotos, desta vez passível de ser observada em três dimensões a partir do uso de filtros de absorção de cores. Após ajustes, o arquivo do anaglifo pode ser armazenado na forma de um arquivo imagem para impressão ou uso direto no computador.

No ArcGis®, o método utilizado para o ajustamento dos anaglifos foi a partir do registro de vetor. Para isso adicionou-se as imagens para uma base georreferenciada do projeto, preferencialmente através de vetores comuns entre o anaglifo e o mapa topográfico, especialmente a rede de drenagem e o sistema viário. Em continuidade ao processo, entra-se na fase de coleta de Pontos de Controle. O processo ocorre primeiramente marcando-se o ponto na imagem e depois no vetor, devendo ser o ponto necessariamente igual em ambos. O



procedimento é repetido até que a imagem esteja totalmente ajustada com o vetor (escala e localização), sendo realizado com todos anaglifos.

3 Geomorfologia

No município de Igrejinha ocorrem paisagens referidas às unidades geomorfológicas Planalto dos Campos Gerais, Serra Geral, Patamares da Serra Geral, Depressão do Rio Jacuí, e planícies alúvio-coluvionares (IBGE) (2003) (Figura 1).

3.1 Geomorfologia do município

O mapeamento geomorfológico de detalhe no município de Igrejinha estabelece que a Unidade Geomorfológica Planalto dos Campos Gerais caracteriza-se a oeste por um relevo relativamente plano e conservado, desenvolvido por extensas áreas interfluviais dos rios Caí e das Antas e deste com o rio Pelotas.

As formas de relevo revelam a existência de etapas evolutivas de dissecação, com áreas mantendo a morfologia planar, outras onde a erosão alargou vales ocasionando, muitas vezes, rupturas de declive de pequenos desníveis, e em outras a erosão alargou os extensos vales, deixando resíduos de antigas superfícies de aplainamento (Figura 2).

A Unidade Geomorfológica Patamares da Serra Geral caracteriza-se por apresentar um relevo escarpado desenvolvido sobre as rochas efusivas básicas da Formação Serra Geral (Figura 3). Na área estudada a unidade apresenta uma profunda e intensa dissecação com marcante controle estrutural, frequentes ocorrências de sulcos estruturais de diversas orientações com drenagens a eles adaptados. Observa-se a presença de cristas simétricas disseminadas e eventualmente relevos residuais isolados.

A Unidade Geomorfológica Patamares da Serra Geral estende-se sobre as rochas efusivas básicas, em áreas que ocorreu recuo da linha da escarpa do Planalto dos Campos Gerais. Em áreas topograficamente baixas ocorre o afloramento de arenitos da Formação Botucatu (Figura 4). As formas de relevo apresentando forte controle estrutural, ocorrendo colinas e localmente formas planares.

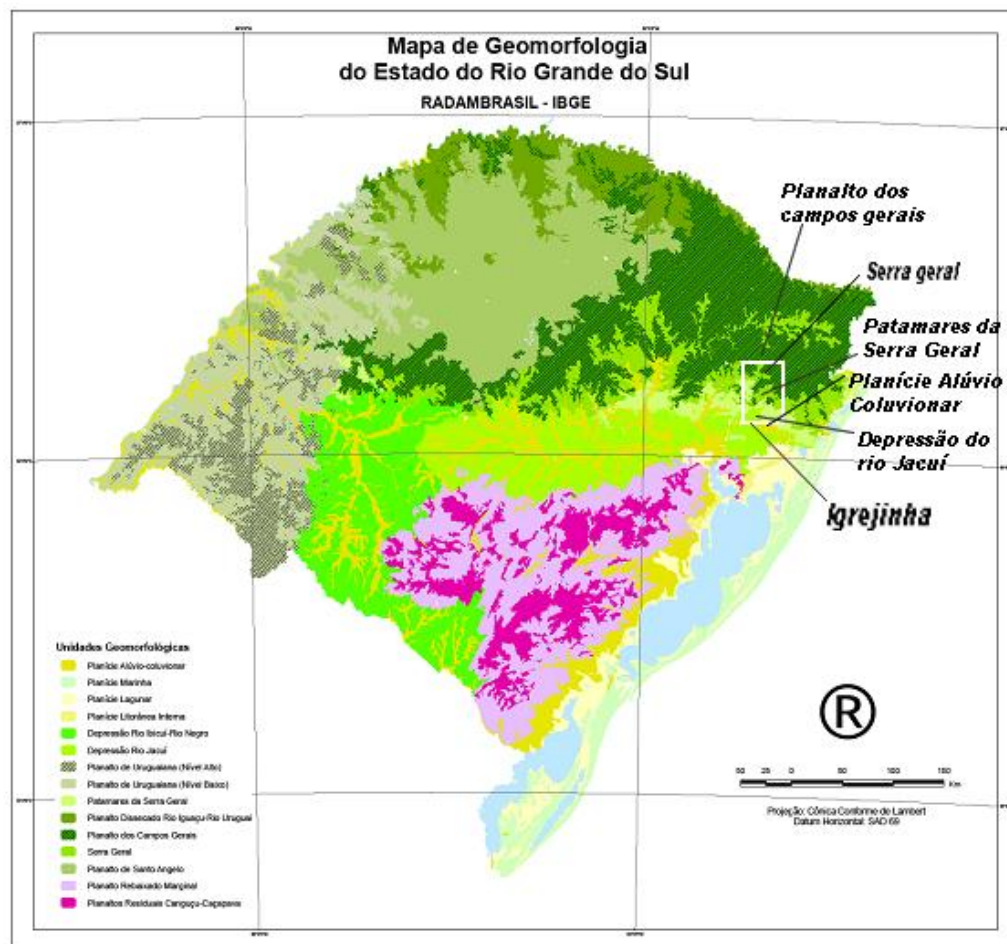


Figura 1 Mapa geomorfológico do estado do Rio Grande do Sul (RADAMBRASIL-IBGE) ressaltando informações da área que compreende o município de Igrejinha.



Figura 2. Vista para a porção noroeste do município de Igrejinha. Ao fundo as elevações remanescentes do Planalto dos Campos Gerais.



Figura 3. Área escarpada no bairro Viadutos típica da unidade Patamares da Serra Geral que se desenvolve nas bordas da Formação Serra Geral



Figura 4. Formação Botucatu aflorando em unidade geomorfológica Patamares da Serra Geral.

A Unidade Geomorfológica Depressão Rio Jacuí caracteriza-se por não apresentar grandes variações altimétricas, com relevo composto por formas alongadas de topo convexo, regionalmente chamadas de coxilhas. Próximo às escarpas da Serra Geral ocorrem superfícies planas, rampeadas, recobertas por colúvios com dissecação incipiente. A Unidade Geomorfológica Alúvio-Coluvionar predominam os modelados planos, originados pela convergência de leques coluviais, cones de dejeção ou concentração de depósitos de enxurradas, podendo ocorrer ainda formas topo plano ou baixo tabuleiro (Figura 5).



Figura 5. Exemplos da Unidade Geomorfológica Alúvio-Coluvionar em vales da porção leste do município.

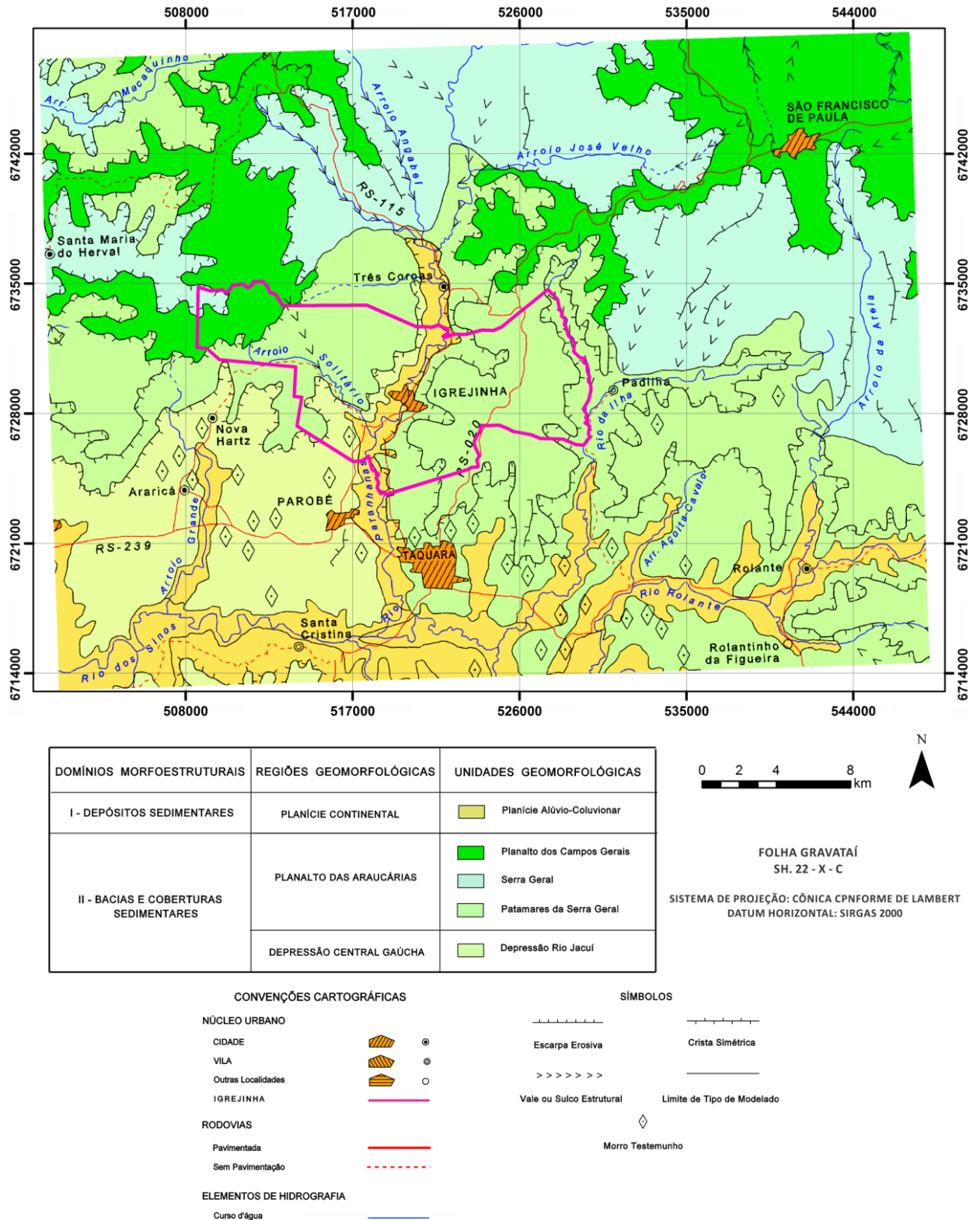


Figura 6 .Unidades geomorfológicas e geológicas da Bacia do Rio Paranhana: Planalto dos Campos Gerais esculpido em rochas vulcânicas ácidas Fácies Caxias, Serra Geral modelada em basaltos do Fácies Gramado, Patamares da Serra Geral dissecado em basaltos do Fácies

Gramado, Depressão do Rio Jacuí, com afloramentos de basaltos do Fácies Gramado e de Arenitos das formações Pirambóia – Botucatu. Na parte alta e média da Bacia ocorrem ocasionalmente depósitos de colúvio e na parte baixa depósitos aluviais. Limites entre unidades e simbologia seguem IBGE (2003).

Na área deste projeto, as unidades geomorfológicas podem ser identificadas pelas variações de altitude e observadas no Modelo Digital do Terreno (Figura 7).

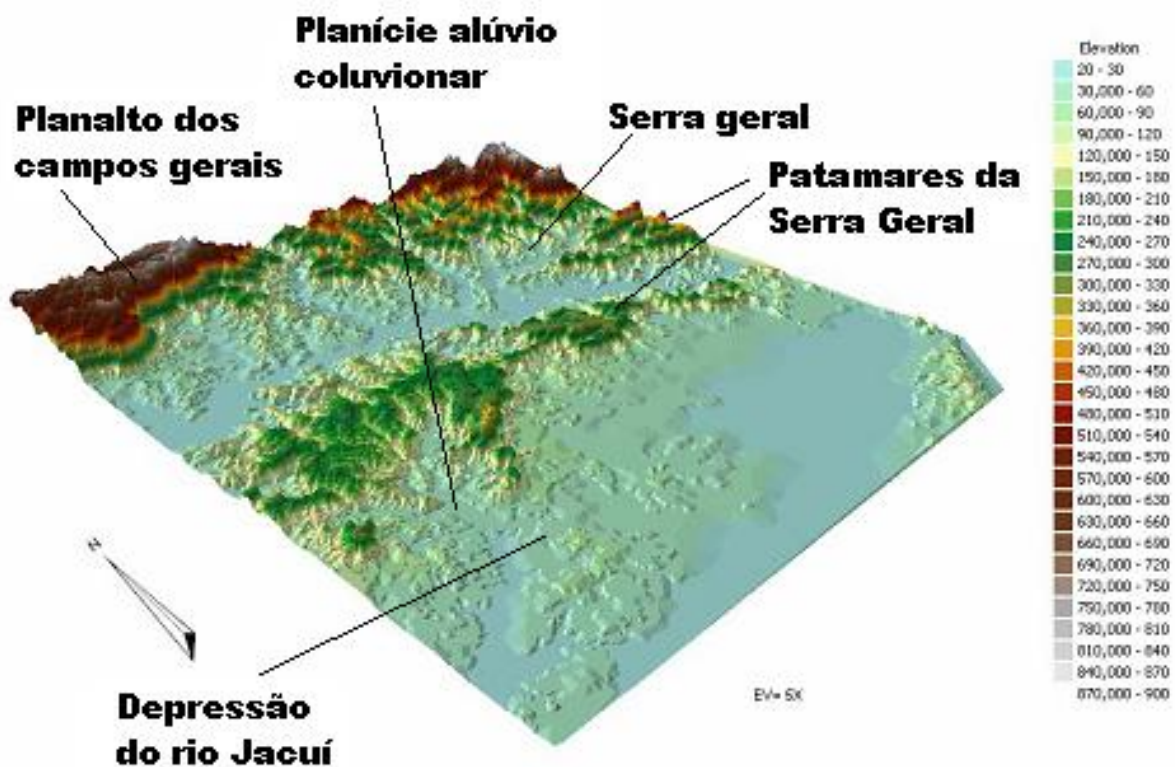


Figura 7. Bloco diagrama com altitudes representadas em cores, ilustra as cinco unidades geomorfológicas que ocorrem no município de Igrejinha (Modificado de Roisenberg et al, 2007).

4 Geologia Regional

O contexto geológico regional é representado pelas unidades da Bacia do Paraná que se caracteriza por ser uma ampla região sedimentar do continente sul-americano que recobre porções territoriais do Brasil, Paraguai, Argentina e Uruguai, com uma área total de aproximadamente 1,5 milhões de km². Constitui uma bacia intracratônica desenvolvida sobre crosta continental governada por um forte controle estrutural. Seu registro estratigráfico compreende um pacote de espessura máxima estimada entre 5.000 e 6.000 metros, formada



por rochas sedimentares predominantemente siliciclásticas e rochas vulcânicas, de idade desde o Ordoviciano ao Cretáceo.

4.1 Formação Pirambóia

A Formação Pirambóia é formada por uma associação de fácies eólicas, predominante, e fácies fluviais subordinadas (Caetano-Chang, 1997 apud Caetano-Chang & Wu, 2003). É constituída predominantemente por arenitos de cor creme e castanho claro, finos a grossos moderadamente selecionados, com matriz lamítica em torno de 10%. Predominam arenitos médios, composto de quartzo, feldspato (<10%) e minerais opacos (traços) (Soares et al. 2008).

De acordo com Caetano-Chang (1997, 2002 apud Caetano-Chang & Wu, 2003) a porção basal da Formação Pirambóia foi depositada em condições de meta-saturação em areias, evidenciada pela abundância de depósitos de interdunas úmidas e de overbank e lençóis de areia com campos de dunas esparsos. Nas porções média e superior da formação o suprimento de areias foi intensificado, evidenciado pela dominância de ergs saturados.

Na porção leste do estado, sul da região do município de Igrejinha, as sequências deposicionais dessa formação são constituídas por litologias predominantemente arenosas, friáveis e espessas. Ocorrem predominantemente, arenitos médios a finos, siltsos, brancos, avermelhados e arroxeados, com estratificações cruzadas acanaladas de baixo ângulo e sigmoidais (sets entre 1 e 3 m), bem como estratificações cruzadas planares e laminações plano-paralelas (Roisenberg et al, 2007).

4.2 Formação Botucatu

A Formação Botucatu (Juro-Cretáceo) é a unidade basal do Grupo São Bento. Ocorre ao longo de toda a Bacia do Paraná e abrange uma ampla área, recobrando cerca de 1.300.000 km², compreendendo áreas do Brasil, Uruguai, Paraguai e África.

O contato superior dos arenitos eólicos dessa Formação é concordante com as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral. Seu contato inferior é marcado por uma superfície erosiva de escala regional. A Formação Botucatu é constituída por arenitos eólicos, de



espessura muito variável depositados em clima árido, com restrita influência do lençol freático. É representada essencialmente por arenito bimodal (fino a médio), castanho e creme avermelhado, composto por quartzo e subordinadamente por feldspato e opacos, apresentando estratificações cruzadas de grande porte (Soares et al. 2008).

4.3 Formação Serra Geral

A Formação Serra Geral cobre praticamente toda a região meridional do Brasil e a porção oriental do Paraguai e ocidental do Uruguai. Corresponde a um grande evento de intensa atividade magmática fissural que resultou em extensos derrames basálticos durante o Mesozóico (NARDY; MACHADO & OLIVEIRA, 2008). Posteriormente, por meio de processos distensivos da litosfera deu-se a separação continental (Gondwana), com o aparecimento de novas bacias oceânicas (oceano Atlântico).

A área de exposição da Formação Serra Geral é de 1,2 x 10⁶ km² na América do Sul e recobrem aproximadamente 75% dos constituintes sedimentares da Bacia do Paraná. Em entidade geológica apresenta uma feição alongada com cerca de 1.700 km de extensão na direção nordeste-sudoeste e 900 km na direção leste-oeste, com espessura máxima de aproximadamente 1.500 metros sobreposta aos arenitos eólicos cretáceos da Formação Botucatu (ROISENBERG & VIERO, 2000).

O magmatismo da formação Serra Geral possui características bimodais, sendo dominado por basaltos e basaltos andesíticos de afinidade toleítica, unidades básicas, contrastantes com as unidades ácidas descritas genericamente como riolitos e riodacitos que ocorrem intercaladas no topo da pilha vulcânica.

Baseado em análises químicas, as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral tem sido subdivididas em três setores (ROISENBERG & VIERO, 2000):

- a) O setor norte é representado por rochas vulcânicas básicas do tipo alto-TiO₂ e P₂O₅>0,3%, subordinadamente por intermediárias e ácidas.
- b) Na porção central ocorrem rochas efusivas básicas alto e baixo TiO₂ e basaltos transicionais. São registradas também intercalações com derrames ácidos.
- c) O setor sul é caracterizado por efusivas básicas do tipo baixo TiO₂. Ocorrem também derrames ácidos e em menor abundância derrames intermediários.



Estudos geoquímicos dos derrames basálticos da Serra Geral, considerando seus elementos menores, traços e terras raras, revelaram que eles não são homogêneos, sendo divididos por Peate et al. (1992) em seis tipos de magmas (Tabela 1): Ubirici (alto TiO₂), Pitanga (alto TiO₂), Paranapanema (alto TiO₂), Ribeira (baixo TiO₂), Gramado (baixo TiO₂) e Esmeralda (baixo TiO₂), com valores de MgO entre 4 e 5 wt%.

Tabela 1. Dados químicos dos diferentes tipos de derrames basálticos da Formação Serra Geral (Peate et al. 1992).

TIPO	TiO ₂ (wt%)	Ti/Zr	Ti/Y	Zr/Y	Sr (ppm)
Ubirici	> 3.3	> 57	> 500	> 6.5	> 550
Pitanga	> 2.8	> 60	> 350	> 5.5	> 350
Paranapanema	1.7-3.2	> 65	> 350	4.0-7.0	200-400
Ribeira	1.5-2.3	> 65	> 300	3.5-7,0	200-375
Esmeralda	1.1-2.3	> 60	< 330	2.0-5.0	120-250
Gramado	0.7-2.0	< 70	< 330	3.5-6.5	140-400

O magmatismo ácido foi inicialmente subdividido por análises geoquímicas em dois tipos: Palmas, com maior teor de SiO₂ e menor conteúdo de elementos incompatíveis; e Chapecó, com menor teor de SiO₂ e enriquecido em elementos incompatíveis (Bellieni et al., 1986; Mantovani et al., 1985 apud Peate et al., 1992)¹;². Com base em dados geoquímicos e isotópicos Peate et al. (1992) propôs dois sub-tipos para cada grupo: Ourinhos e Guarapuava para o tipo Chapecó e Caxias do Sul e Santa Maria para o tipo Palmas (Tabela 2).

Na região do município de Igrejinha são dominantes os derrames basálticos do tipo Gramado e os derrames ácidos do tipo Palmas, sub-tipo Caxias do Sul.

¹BELLIENI, G. *et al.* Petrogenetic aspects of acid and basaltic lavas from the Paraná Plateau (Brazil): geological, mineralogical and petrochemical relationships. **Journal of Petrology**, v. 27, p. 915- 944, 1986.

²MANTOVANI, M. S. M.; CORDANI, U. G.; ROISENBERG, A. Geoquímica isotópica em vulcânicas ácidas da Bacia do Paraná e implicações genéticas associadas. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 15, p. 61-65, 1985.

**Tabela 2. Dados químicos dos diferentes tipos de derrames ácidos da Formação Serra Geral (Peate et al. 1992).**

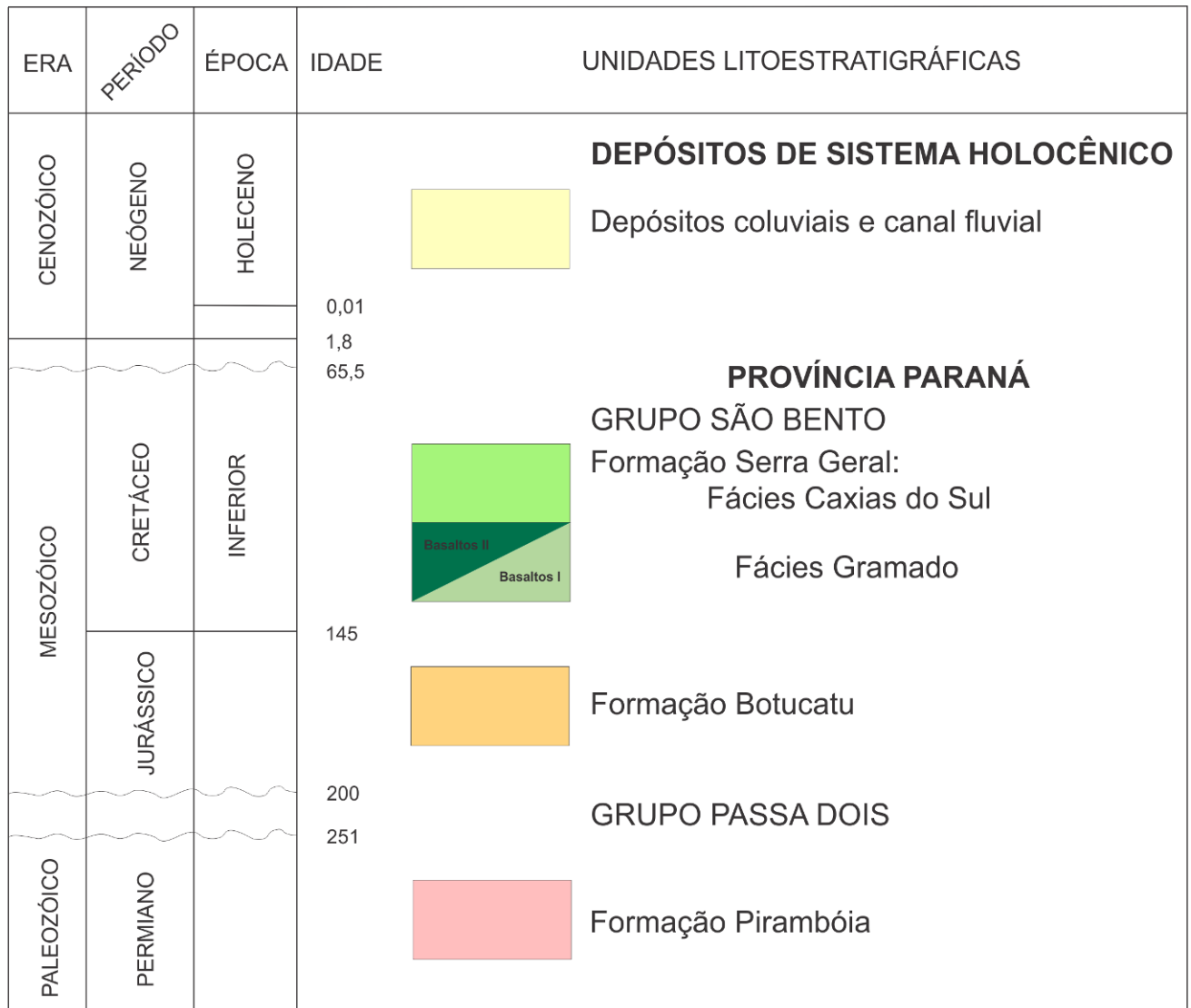
TIPO	SiO ₂ (wt%)	Zr (ppm)	Sr (ppm)	Sub-tipo	(⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr) _i
Chapecó	63-68	> 500	> 250	Ourinhos	< 0,706
				Guarapuava	0,707-0,708
Palmas	65-72	< 400	< 170	Caxias do Sul	0,718-0,722
				Santa Maria	0,723-0,728

5 Geologia Local

Neste item são apresentadas as unidades geológicas geradas a partir da integração dos resultados obtidos com as técnicas de aerofotogeologia, imagens de satélites e mapeamento geológico. As nomenclaturas adotadas seguem as tratadas no item do contexto geológico regional, sendo descritas a seguir seguindo a ordem exibida na coluna estratigráfica abaixo.

5.1 Formação Botucatu

Com espessuras médias de 70 metros, os pacotes sedimentares da Formação Botucatu afloram de forma contínua na área do município de Igrejinha, principalmente nas bases das escarpas do vale em que ele se encontra, na forma de morros testemunhos na porção sul do município (Patamares da Serra Geral), e, em menor proporção, no leito e margens do rio Paranhana nas porções mais centrais (Figuras 8). Em campo verificou-se que os afloramentos dessa unidade apresentam uma variação considerável de cota. Nas porções mais ao norte, próximas ao município de Três Coroas, as litologias podem aflorar em cota superior aos 145 metros, e ao sul do mesmo vale, próximo aos municípios de Parobé e Taquara, não atingem mais do que 60 metros. Na porção leste do município, no vale formado pelo Rio Padilha, os pacotes sedimentares podem alcançar cotas de 200 metros.



As litologias dessa unidade são representadas essencialmente por arenitos bimodais, finos a médios, de cor rosa-claro, bastante litificados, predominantemente quartzosos, sem matriz argilosa, com grãos foscos variando de subarredondados a arredondados e normalmente bem selecionados. As principais estruturas descritas foram as estratificações tangenciais e cruzadas acanaladas de grande a médio porte, sendo raras as plano-paralelas (Figura 8).

O contato inferior da Formação Botucatu se dá com a Formação Pirambóia, não ocorrendo na área do município de Igrejinha. O seu contato superior com os basaltos da Formação Serra Geral é discordante (Figura 9). Nas partes mais elevadas os arenitos tornam-

se mais silicificados, endurecidos e com menor porosidade. De forma menos frequente são encontrados arenitos intertrápicos, não muito espessos, nos derrames de basalto (Figura 10).



Figura 8. Afloramento de arenito da Formação Botucatu em leito de estrada (Ponto 13) com estratificação cruzada.

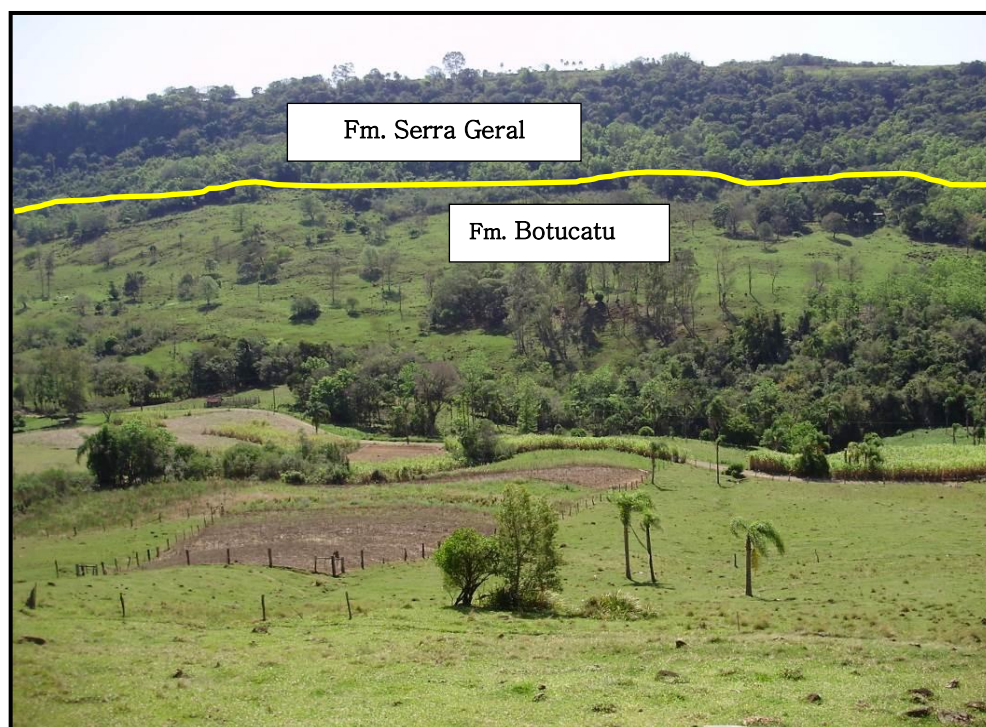


Figura 9. Panorama geral mostrando o contato da Fm. Serra Geral com a Fm. Botucatu (Foto a partir do Ponto 13).



Figura 10. Contato do arenito intertrápico da Formação Botucatu com o basalto da Formação Serra Geral (Ponto 1).

5.2 Formação Serra Geral

Na área do município de Igrejinha predominam as unidades relacionadas ao magmatismo da Formação Serra Geral. Foram identificadas rochas vulcânicas básicas (Fácies Gramado) e lavas ácidas (Fácies Caxias), com predomínio das primeiras, localizadas na região de escarpas (Figura 12). As lavas ácidas são restritas a uma pequena porção no extremo noroeste do município, na parte mais elevada da sequência onde as cotas chegam a 770 metros.

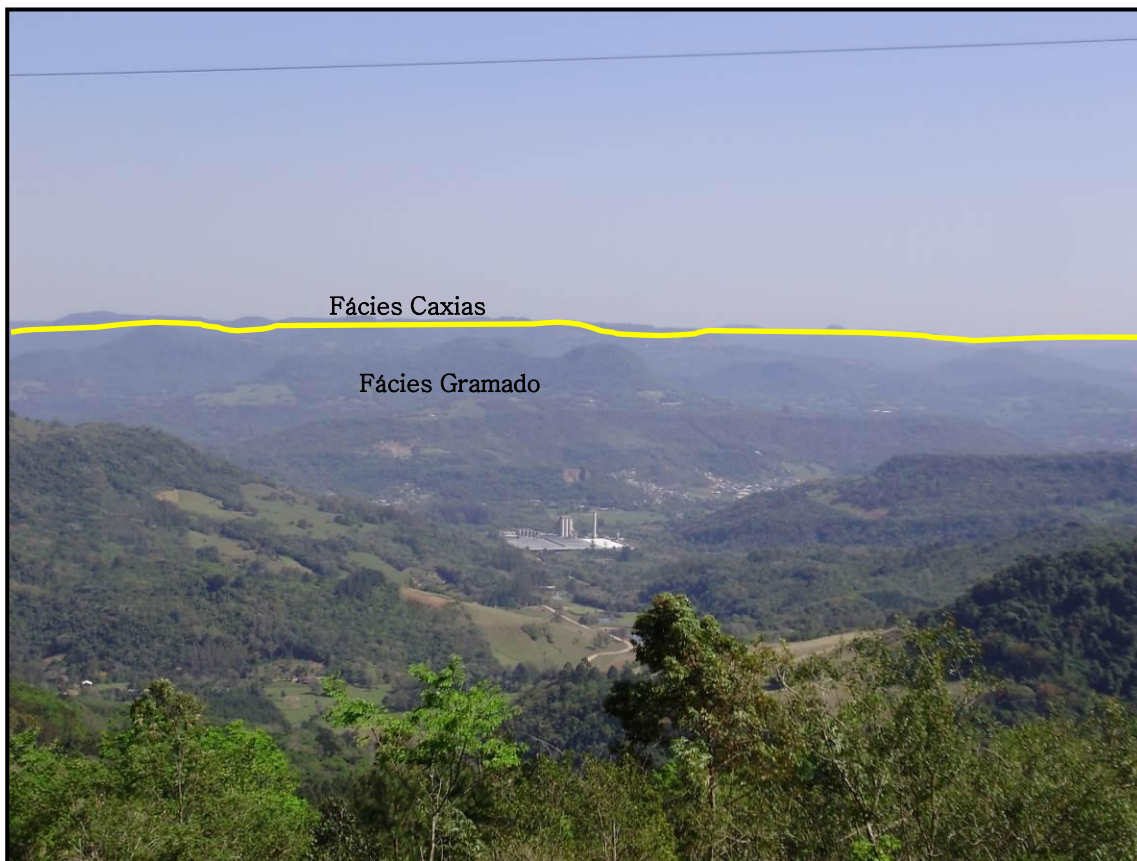


Figura 12. Panorama geral da Formação Serra Geral na área do município de Igrejinha mostrando a posição estratigráfica do Fácies Caxias em relação ao Fácies Gramado, predominante na região do município. (Foto a partir da parada 2).

5.2.1 Fácies Gramado

No município de Igrejinha os derrames vulcânicos do Fácies Gramado ocorrem na base da Formação Serra Geral, com espessura média de até 450 metros. Os primeiros derrames estão sobrepostos diretamente acima das rochas sedimentares da Formação Botucatu, podendo nas porções basais ocorrer intercalações de arenitos intertrápicos do arenito sotoposto.

As lavas basálticas que afloram na porção central do município ao longo do vale do Rio Paranhana, possuem características peculiares que permitiram a sua subdivisão em dois níveis distintos, Basaltos I e Basaltos II.

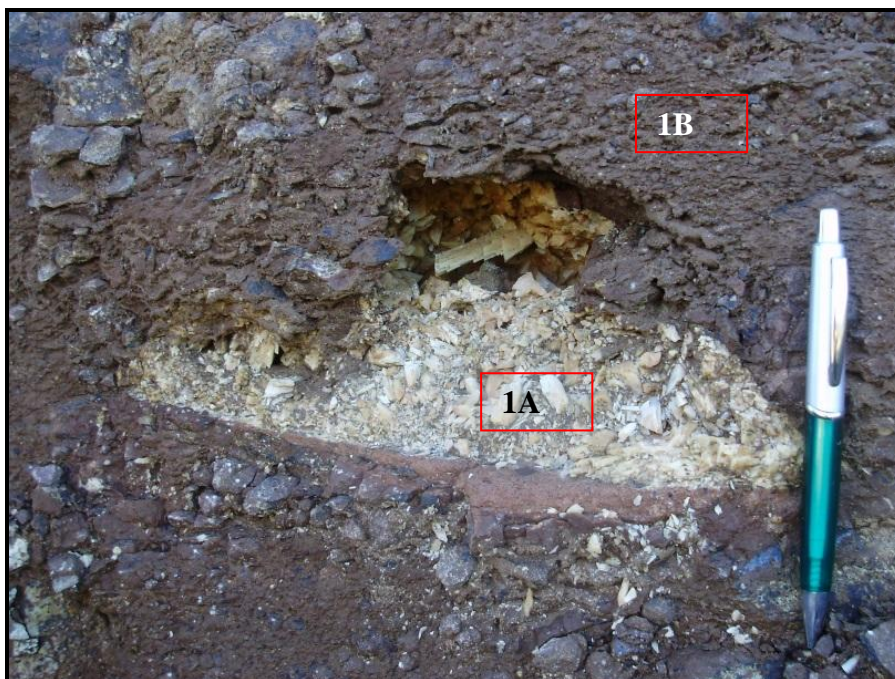


Figura 13. Derrame basáltico vesicular do Fácies Gramado (Basalto I) preenchido por zeolitas (Ponto 1) com forte processo de alteração e fragmentação da rocha (localização da amostra 1A (zeolita) e amostra 1B (rocha Basalto I esferulítico)).

O primeiro nível de derrames (Basaltos I) apresenta-se normalmente com forte alteração e são encontrados até próximo os 250 metros de altitude. Em cortes de estrada, observa-se que são derrames de espessura variável e com poucos metros. Geralmente apresentam um incipiente horizonte maciço seguido de um horizonte vesicular bem desenvolvido e forte fragmentação, que inclusive facilita a exploração desta litologia como saibreiras pelo município. Por ser um nível da Formação Serra Geral apresenta frequentemente arenito intertrápico intercalado (Figura 14). Alguns derrames são majoritariamente formados por zona vesicular. Raramente, apresentam nível com disjunções colunares. As vesículas variam em tamanho, localmente chegando a centimétricas, e são total ou parcialmente preenchidas por um ou mais minerais como quartzo e zeolitas (Figura 13). Possui grande suscetibilidade à alteração, gerando solos espessos, de textura argilosa e coloração arroxeadada. Normalmente apresenta um relevo com encostas suavizadas.

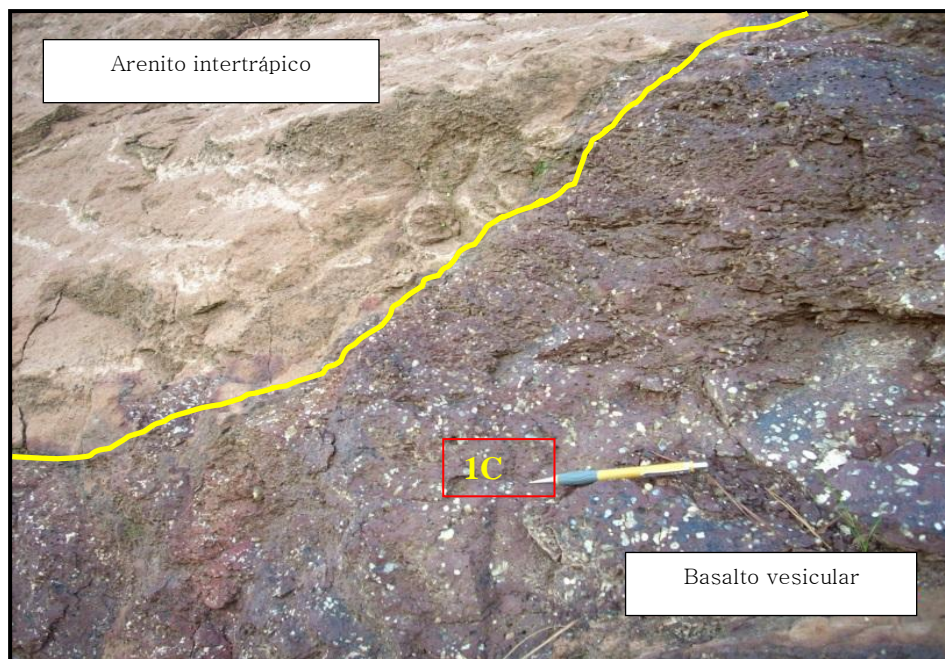


Figura 14. Contato do arenito intertrápico da Formação Botucatu com o derrame basáltico (Basalto I) vesicular do Fácies Gramado (Ponto 1). Localização da amostra 1C (rocha Basalto I avermelhado).

Devido a essas características foram selecionadas 04 amostras desses derrames (Basalto I) para análise difratométrica, cujos resultados estabelecem características mineralógicas diferenciadas. O principal objetivo dessa etapa foi a identificação mineralógica das amostras, especialmente das fases de alteração no âmbito da cristalização final do magma em ambiente hidrotermal ou na interação com o arenito Botucatu e por processos intempéricos.

Na figura 15 tem-se o resultado da análise dos minerais do grupo da zeolita associado com o Basalto I. Na análise constata-se que os minerais de coloração branca que preenchem cavidades e vesículas na rocha são realmente zeolitas, predominantemente da espécie natrolita e stilbita.

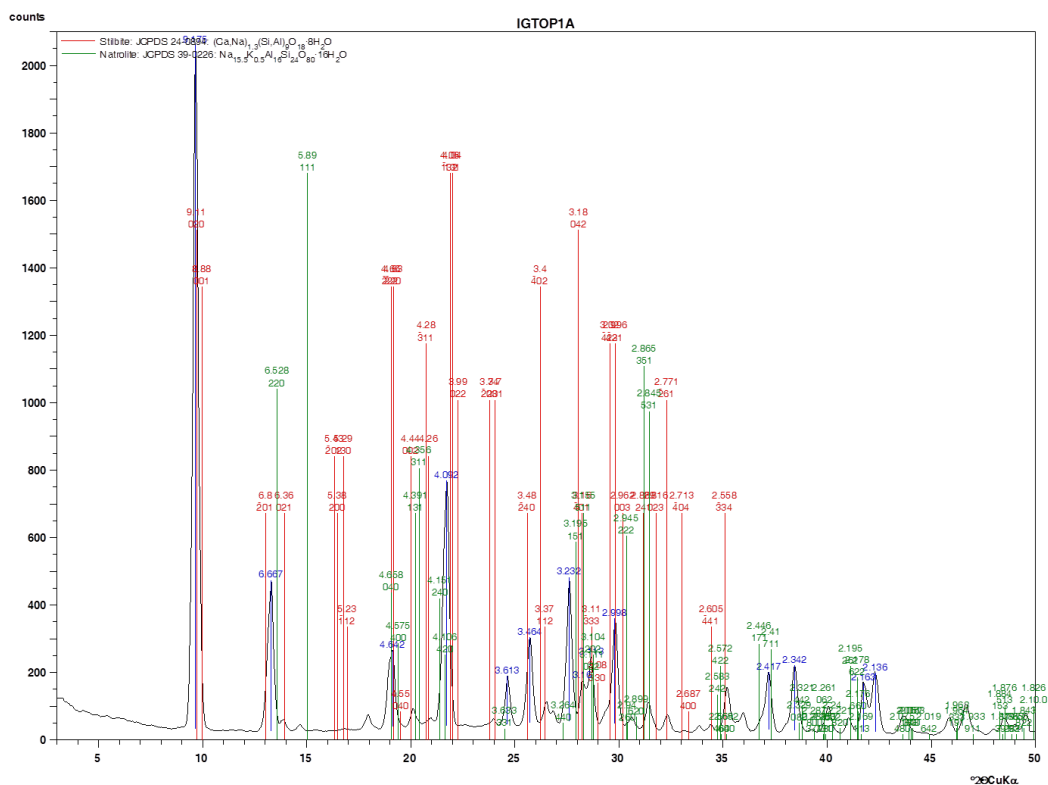


Figura 15. Análise difratométrica da amostra 1A(ver localização da figura 13) onde são identificados dois tipos de zeolitas principais a natrolita e a stilbita.

As cores por vezes avermelhadas da rocha que compõe o Basalto I, associado à facilidade de fragmentação e a grande quantidade de vesículas preenchidas com zeolitas e carbonatos determinou exames mais detalhados da sua composição. Os resultados das análises (Figura 16) estabelecem o predomínio de argilominerais expansivos do grupo das esmectitas com espaçamentos variando de 15Å quando no modo natural, passando para 17-18 Å quando no modo glicolado. O formato das linhas de difração permite supor que amostra 1B e 1C são esmectitas com ordenamento cristalino superior e típico de uma origem hidrotermal ou tardi-magmática (possibilidade de serem da espécie das celadonitas), ou seja, se formaram junto com o processo de resfriamento da rocha (ver localização das amostras 1B e 1C na Figura 13 e 14). No que refere à amostra 2A, o comportamento sugere uma esmectita do grupo das montmorilonitas, de baixa cristalinidade e típico de processos de alteração intempérica do Basalto I. Portanto, no Basalto I observa-se uma facilidade dos minerais da rocha se alterarem para minerais expansivos do grupo das esmectitas.

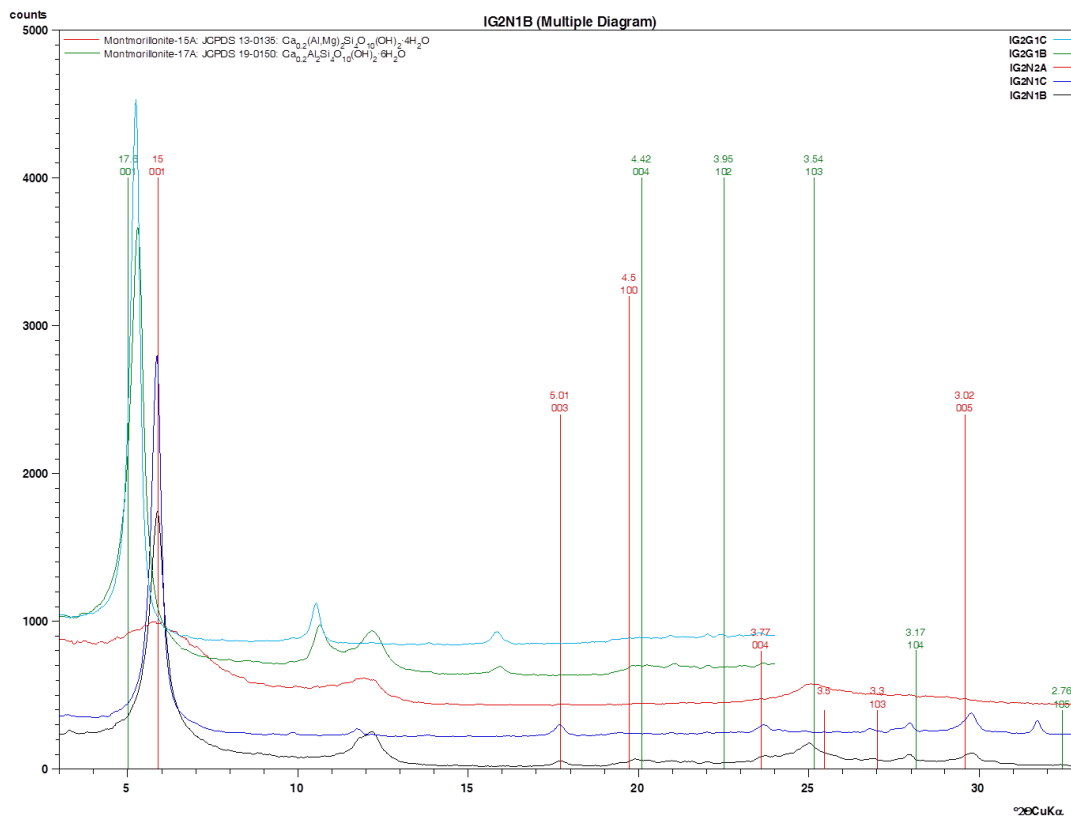


Figura 16. Análise difratométrica das amostras 1B, 1C e 2 A no modo sem tratamento e com tratamento com etileno glicol relacionadas com o Basalto I. Em todas as amostras predominam minerais de argila expansivos do grupo das esmectitas.

O segundo nível de derrames (Basaltos II) apresenta-se normalmente pouco alterado e com disjunções colunares bem desenvolvidas (Figura 17). São predominantes nas áreas acima dos 250 metros de altitude. A textura da lava varia de afanítica a porfírica fina com microfenocristais e com cor preta a cinza escura. Possuem em sua constituição mineralógica essencialmente feldspatos alcalinos e cálcicos e minerais ferromagnesianos (normalmente piroxênios) e grãos esparsos de minerais opacos (geralmente magnetita) (Figura 18). Provavelmente por terem sofrido um resfriamento mais lento em relação às demais zonas do derrame, possuem espessuras maiores que as demais zonas, sendo constituídos basicamente por rochas maciças e densas.

Os afloramentos dos derrames desse segundo nível são em forma de estruturas colunares (sub-vertical), dando a eles um aspecto prismático. Sua suscetibilidade à alteração é

menos acentuada, gerando solos pouco espessos, contendo pequenos blocos e matações subarredondados, além de relevo escarpado.



Figura 17. Derrame de lava basáltica da Formação Serra Geral do Fácies Gramado com nível de disjunções colunares (Ponto 18).



Figura 18. Aspecto textural lava do Fácies Gramado (Pontos 10 e 11 respectivamente).

5.2.2 Fácies Caxias do Sul

Os derrames vulcânicos ácidos do Fácies Caxias estão posicionados estratigraficamente



acima das rochas básicas, sendo aflorantes nos topos dos morros mais altos da área do município, os quais desenvolvem uma morfologia em mesa.

As rochas ácidas ocorrem como derrames maciços que apresentam uma textura esferulítica característica e observada em campo sendo denominada de “carijó”. Localmente, texturas de fluxo são encontradas, resultante da natureza mais viscosa destas rochas (Figura 19). O Fácies Caxias consiste em derrames granulares finos a microfaneríticos, horizontes superiores com disjunção tabular regular bem desenvolvida e raras são as vesículas preenchidas por sílica. O centro dos derrames é maciço e contém estruturas de fluxo. Na área de estudo as rochas ácidas são cinza a avermelhadas e afaníticas (Figura 20).



Figura 19. Detalhe mostrando bandamento de fluxo em rochas ácidas do Fácies Caxias (Ponto 12).

5.2.3 Depósitos recentes

Em grande parte do município de Igrejinha as unidades acima descritas encontram-se recobertas por sedimentos ou materiais transportados por agentes de transporte gravitacionais (colúvios) ou fluviais (aluviões).

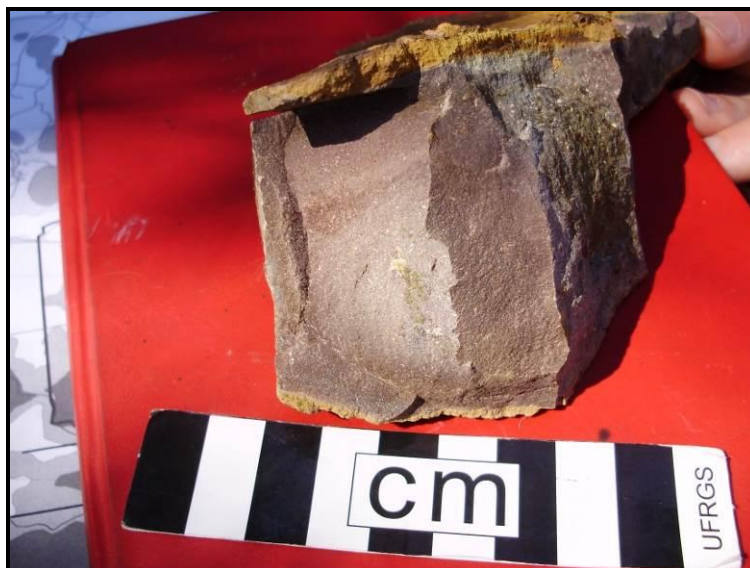


Figura 20. Aspecto textural de lava do Fácies Caxias (Pontos 12).

Os colúvios são formados por materiais que se originaram nas cotas mais altas, sendo naturalmente transportados para as cotas mais baixas por efeito gravitacional. O processo se inicia com a alteração e formação de perfis de solos nos locais com declividade menos acentuadas ou de maior facilidade de alteração da rocha que compõe o substrato. As principais rochas expostas aos agentes intempéricos na região do município são os arenitos eólicos da Formação Botucatu e os basaltos da Formação Serra Geral.

Os depósitos coluviais se deslocam continuamente para as cotas mais baixas do terreno, sendo que a acumulação final localiza-se nas bases das encostas e dos vales, onde a dinâmica do sistema de drenagem transporta os sedimentos de acordo com a sua competência. A formação continuada destes depósitos ocorre devido ao avanço do intemperismo, erosão e retrabalhamento das rochas e blocos remobilizados. Estes depósitos encontram-se, preferencialmente, nas quebras de relevo formadas no contato de derrames e nos sopés e superfícies dos morros.

Sendo os basaltos a rocha principal para a geração dos sedimentos, observa-se que o produto final é constituído de um material com características de bimodalidade (material fino síltico argiloso e blocos de rocha parcialmente intemperizados). Portanto, os sedimentos cuja fonte são os basaltos possuem dificuldades em formar areias e se caracterizam por serem pobremente selecionados, constituídos por depósitos conglomeráticos, síltico-argilosos, matações, blocos e seixos angulosos a subarredondados de arenitos e basaltos. No que se



refere ao Arenito Botucatu, a sua própria natureza favorece a formação de areias no material inconsolidado.

Os depósitos aluvionares englobam os sedimentos depositados pelos cursos d'água. Ocorrem preenchendo calhas de rios e suas planícies de inundação ao longo dos vales de toda área do município. Materiais inconsolidados, representados por cascalhos e sedimentos siltico-argilosos mal selecionados. Em áreas mais altas do município podem ocorrer sedimentos mal selecionados com presença de clastos de arenito e basalto, associados às encostas do terreno (Figura 21). A heterogeneidade granulométrica nesses depósitos é devido aos diferentes ambientes de sedimentação e também à variação de energia do agente transportador.



Figura 21. Depósitos aluvionares no leito de arroio (a) e nas encostas do rio Paranhana (b).

6 Análise estrutural

A análise estrutural dos lineamentos traçados na área de estudo com base na fotointerpretação das fotografias áreas escalas 1:110.000 e 1:60.000, permitiu a construção do diagrama de rosetas mostrado na figura a seguir.

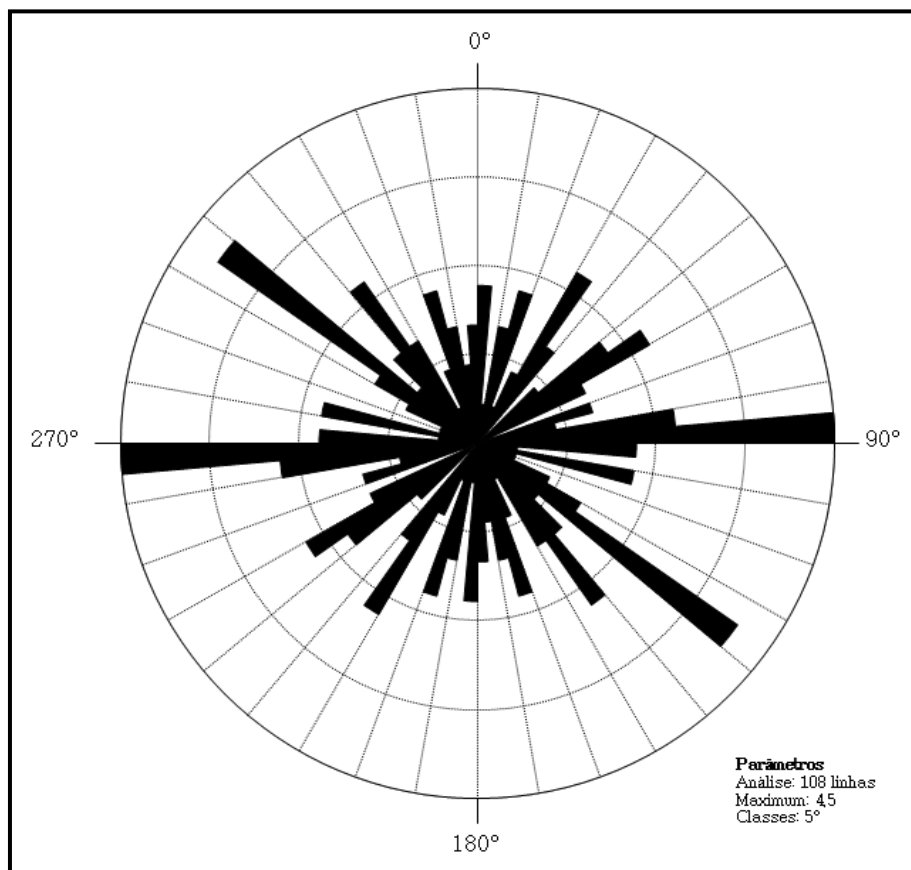


Figura 22. Esterograma dos lineamentos da área do município de Igrejinha.

No diagrama pode-se observar uma pequena dispersão, mas com o predomínio significativo dos lineamentos no sentido E-W e no quadrante NW. Os intervalos mais importantes de distribuição têm valores N 85° - 90° E e N 50° - 55° W. Estas orientações exprimem a localização das grandes deformações de caráter frágil, representadas por fraturas e falhas, essas últimas produzindo perturbações das posições originais das unidades.

Os demais lineamentos aparecem variando nos valores tanto no que condiz ao tamanho quanto à constância, estes refletem os transectos secundários provenientes dos lineamentos maiores. Apesar de serem de menor amplitude, não implicam numa passividade



em relação ao terreno, algumas destas discontinuidades refletem no direcionamento das drenagens.

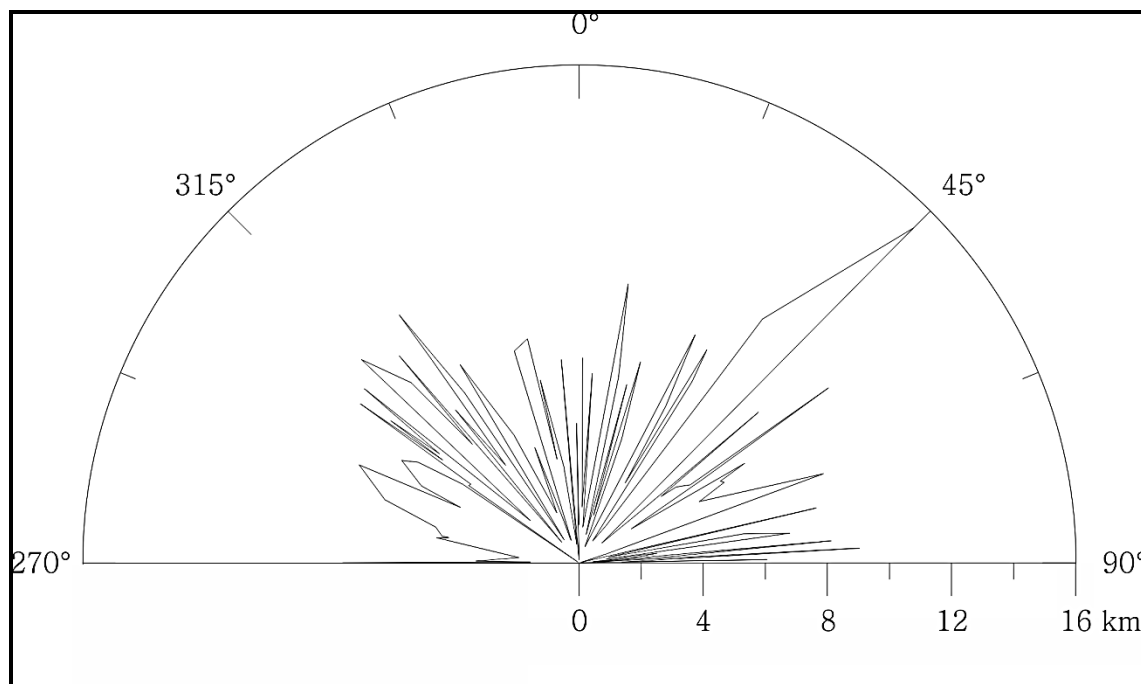


Figura 23. Diagramas de comprimentos de fotolineamentos regionais.

O diagrama da Figura 23 reflete os comprimentos dos lineamentos regionais na área do município de Igrejinha. Nota-se a ocorrência de alguns lineamentos de grande extensão na orientação nordeste-sudoeste, em torno do azimute 045°. Uma pequena concentração de lineamentos de extensão um pouco menores ocorre na orientação noroeste-sudeste, em torno do azimute 315°.

7 Dinâmica atual da paisagem

O planeta Terra possui formas de relevo e desníveis topográficos variados resultantes da ação de forças geodinâmicas internas e externas. Tais forças estão em constante interação e intimamente ligadas à evolução geológica.

Um dos processos geológicos atuantes é o ciclo das rochas, responsável pelo movimento de trazer para a superfície massas rochosas formadas no interior do planeta. Esse mesmo processo é responsável pelo mecanismo inverso, onde volumes de rochas que estão na superfície são reciclados.



Diferentes fenômenos geológicos estão ligados a esses processos de movimentos e transformações: magmatismo vulcânico e plutônico, metamorfismo, dobramentos, falhamentos, tectônica de placas, orogênese e terremotos. De alguma maneira, todos esses fenômenos são importantes para a manutenção das formas de relevo pois impedem o aplainamento produzido pelos processos exógenos (intemperismo).

As paisagens que observamos no nosso dia a dia se diferem pelo relevo, litologia, solos, cobertura vegetal e clima. Esses fatores agem de maneira interdependente, um influenciando o outro. Por exemplo, conforme a litologia do terreno teremos um relevo diferente e processos como os movimentos de massa, que se tornam cada vez mais impactantes nas populações urbanas devido ao seu crescimento e interferência nos fatores citados.

O município de Igrejinha está inserido em um vale rodeado por áreas com encostas de declividades variadas sujeitas a movimentos de massa. O relevo do município possui uma grande variação de cotas e uma clara separação entre as unidades geomorfológicas e geológicas, com áreas escarpadas além de depósitos coluvionares e aluvionares (Figura 38).

Considerando o ciclo ideal de erosão como um bom ponto de partida para ordenar as formas concretas da paisagem do município de Igrejinha, estas, de modo geral, estão principalmente em estágio maduro (grau de dissecação intermediário) (Figuras 24 e 25). A superfície de erosão cimeira definida para a região como sendo a Superfície de Vacaria (Ab'Saber, 1969), coincide na área com a unidade geomorfológica Planalto dos Campos Gerais. Embutida nesta antiga superfície, ocorre abaixo da escarpa da Serra Geral, nos Patamares da Serra Geral, a Superfície de erosão inter-planáltica da Campanha. Finalmente, embutida na superfície de erosão da Campanha, ocorre a superfície deposicional recente que coincide com as Planícies Alúvio Coluvionares (Figura 26).

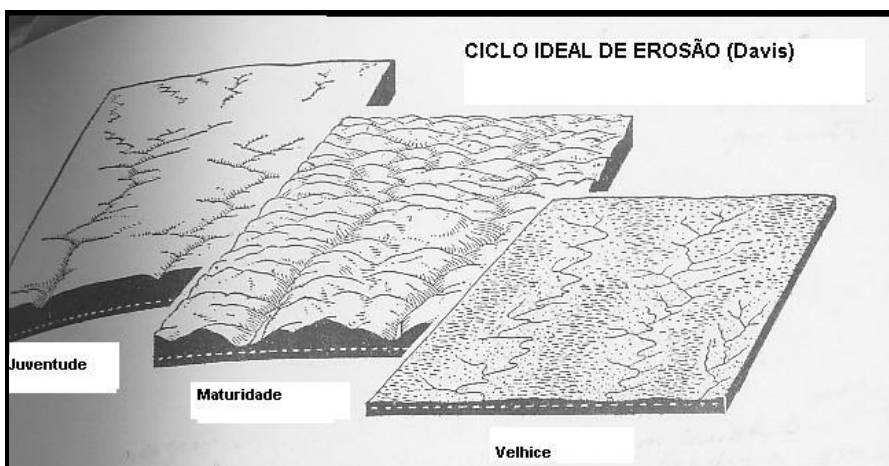


Figura 24. Ciclo ideal de erosão.



Figura 25. No horizonte, superfície de erosão Vacaria. Em primeiro plano, superfície embutida, modelada no basalto.



Figura 26 Corte esquemático idealizado, NE –SW, ilustrando as superfícies de erosão do Rio Grande do Sul.



Devido às características geológicas e estruturais do ambiente em que se localiza, são registrados deslizamentos de terra e queda de blocos rochosos em diferentes locais do município. Quedas de blocos são comuns na escarpa da Serra Geral e nas escarpas dos Patamares da Serra Geral, movimentos de massa do tipo fluxo de detritos e escorregamentos têm origem nestes relevos escarpados e se desenvolvem nos vales embutidos de depósitos alúvio coluvionares. Rastejo acelerado ocorre nas planícies alúvio coluvionares.

Movimento de massa compostos por rastejo acelerado e escorregamento rotacional foram observados na RS-020 (Figura 27). Observa-se na área uma relação de solo residual no topo, blocos e matacões de rocha soltos, solo transportado na encosta superior do corte da estrada, árvores inclinadas, terracetes, corte da estrada, colúvio deslocado pelo movimento de massa, basalto amigdalóide e plano de escorregamento (Figura 28).



Figura 27. Cabeceira do escorregamento (Ponto 10).

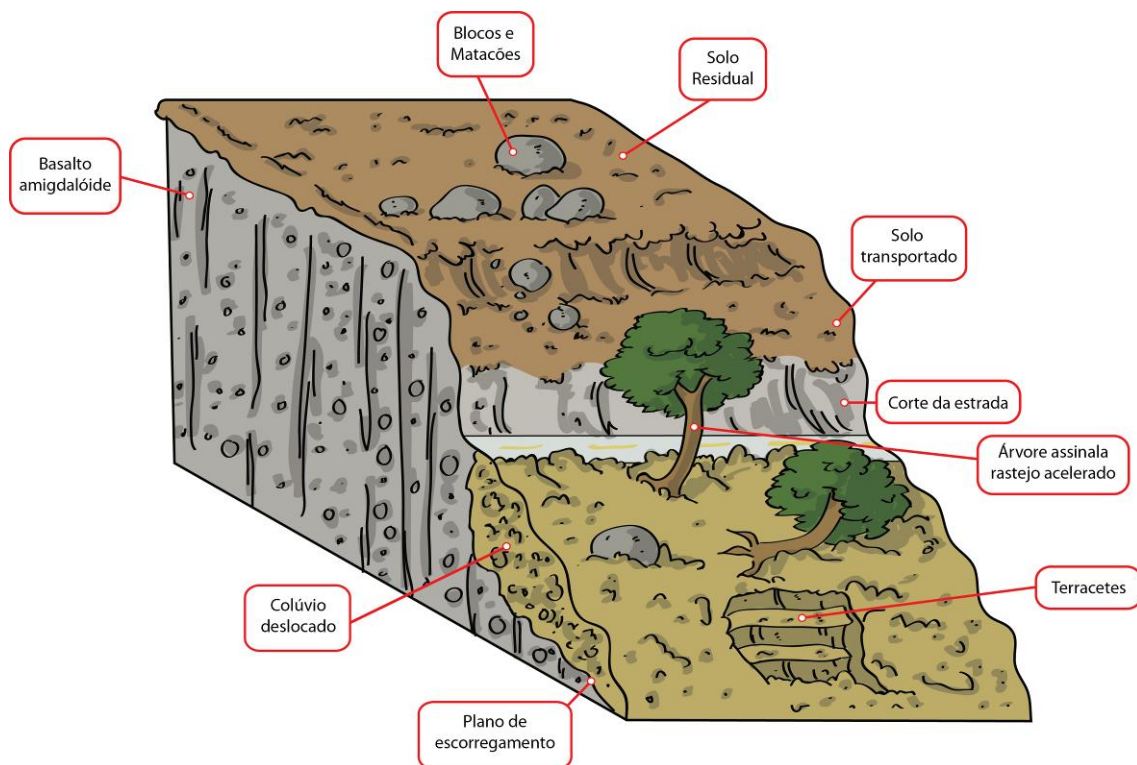


Figura 28. Bloco diagrama esquemático do terreno.

Em encostas formadas pelos arenitos da Formação Botucatu foram registrados deslizamentos de capa de solo como pode ser observados nas figuras 29 e 30.

Em encostas dos vales do município observamos o contato entre os basaltos da Formação Serra Geral e os arenitos da Formação Botucatu encobertos por depósito de tálus e colúvios (figura 31).



Figura 29. Deslizamento em encosta (Ponto 19).



Figura 30. Deslizamento em encosta (Ponto 20).

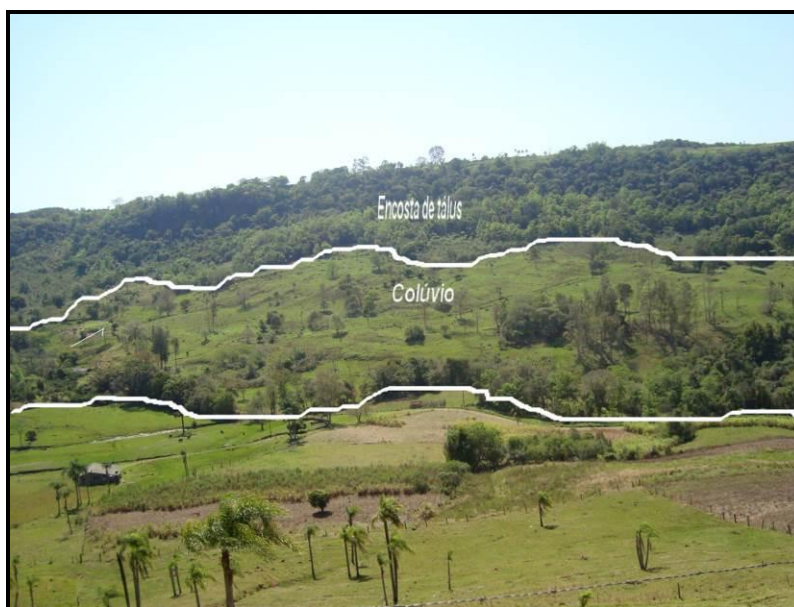


Figura 31. Elementos de encosta desenvolvidos em basalto (Ponto 13) no extremo leste do município.

Depósitos de colúvio ocorrem próximos à área urbana do município e são modificados pela interferência da população (Figura 32 e 33).

No Basalto I as características da rocha permite o estabelecimento de saibreiras como a pedreira conhecida como Saibreira I, onde são observadas feições indicadoras de movimentação de solo e do colúvio como degraus de abatimento, trincas e árvores inclinadas. As bancadas da cava são constituídas por Basalto I alterado e apresentam naturalmente desprendimento de blocos (Figura 34).



Figura 32. Rampas de colúvio são normalmente ocupadas pela população, na área rural como zonas para o plantio de diversas culturas (Ponto 15) ou na área urbana como base para as edificações.



Figura 33. Ponto 15. Obras e escavações em colúvio na área urbana (a) Perfil típico de colúvio oriundo da remobilização de solos desenvolvidos a partir dos basaltos. (b) Observe-se o caráter essencialmente argiloso e bimodal com blocos de rocha (corestone).



Figura 34. Colúvio na parte superior na área de mineração da Saibreira I (Ponto 22).

Próximo desse local tem-se registros de um grande escorregamento planar de solo e rocha. É possível observar a presença de árvores inclinadas, degraus de abatimento e rastejo no local (figura 35).



Figura 35. Área que sofreu com movimento de massa atualmente encoberta por vegetação (Ponto 23).



No bairro Viaduto ocorre encosta constituída por depósito de tálus e colúvio, com dois patamares de deposição e com evidências de movimentação por rastejo.



Figura 36. Depósito de colúvio em área rural do município com cicatrizes indicativas da lenta movimentação do colúvio (Ponto 9).

Observações detalhadas foram feitas nas áreas do vale do Rio Paranhana e seus afluentes próximo da área urbana da cidade de Igrejinha. O substrato do vale é formado pelos arenitos da Formação Botucatu, cujas propriedades favorecem a infiltração da água de superfície. A região do ponto 14 é típica desta situação (Figura 37). O arenito que forma o substrato do vale é encoberto por material coluvionar trazido através de movimentos gravitacionais das encostas circundantes, constituído essencialmente de material argiloso com descolorações provocadas pela variação do lençol freático. Apesar do ponto estar na parte basal de um vale, não são observados depósitos aluvionares típicos, sendo que estes ficam restritos à zona das calhas dos rios. Geologicamente estas observações indicam que o efeito de possíveis enchentes ao longo das principais drenagens do município não se refletem na existência de depósitos aluvionares que pudessem comprovar fenômenos de natureza catastrófica. Ao mesmo tempo comprova que os rios desta região são muito ativos no processo de transporte e remobilização do material coluvionar depositado nos seus vales.



Figura 37. Ponto 14. Depósito coluvionar diretamente assentado sobre o arenito Botucatu nas regiões de fundo do vale do Paranhonha e seus afluentes. Observar a inexistência de depósito aluvionar. Nestas áreas baixas o nível freático encontra-se próximo a superfície e sua variação promove a remobilização de elementos químicos que geram descolorações ao longo do perfil, principalmente pela mobilização do ferro.



1 - Planície coluvionar: deposição final material oriundo dos colúvios sobre arenito com tendência a infiltração rápida. Os depósitos fluviais ocorrem somente ao longo da calha do rio.

2 - Ocorrência de depósitos de colúvio com concentração de blocos oriundos das cotas mais altas. São comuns a esse nível a ocorrência de deslizamentos de terra e de movimentos de massa lentos como o rastejo, podendo ocorrer também escorregamento rotacional.

3 - São comuns os depósitos de tálus e de colúvios na base das encostas. Podem ocorrer escorregamento rotacional, deslizamentos de terra e quedas de blocos nas áreas mais altas onde rochas bastante fraturadas afloram.

4 - Em algumas áreas mais altas do município as rochas afloram em paredões normalmente com uma camada pouco espessa de solo residual. Essas rochas são bastante fraturadas, sendo comum a ocorrência de queda de blocos.

5 - Áreas altas do município onde ocorre alteração esferoidal da rocha e formação de solo residual. Esse material pode ser transportado sendo parte formadora dos depósitos de tálus e colúvio em cotas mais baixas.

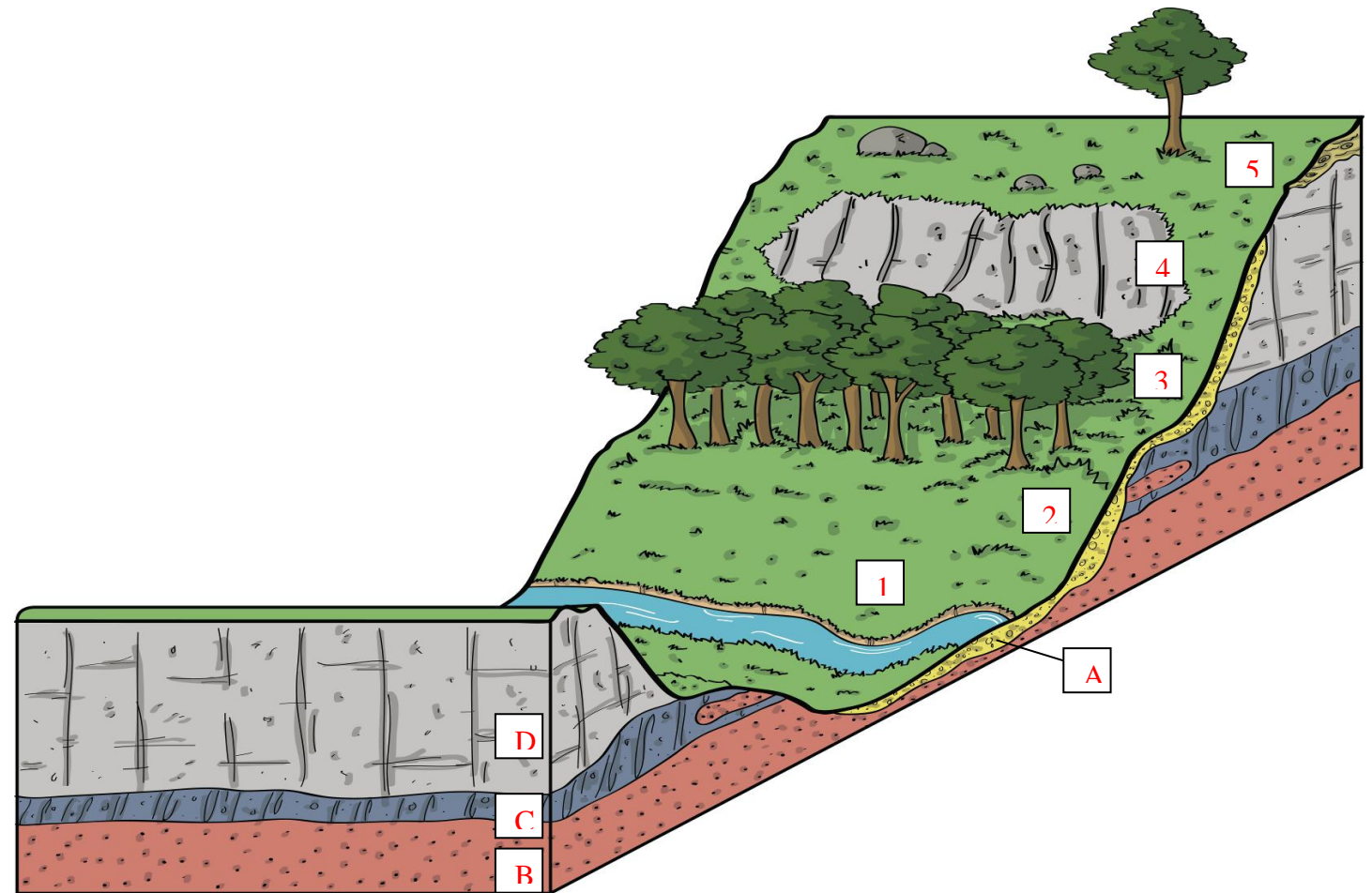


Figura 38. Bloco diagrama esquemático representando a distribuição das unidades geológicas e depósitos recentes.



8 Referências

- Bacia hidrográfica do rio dos sinos. (2010). Governo do Estado do Rio Grande do Sul. Secretaria Estadual do Meio Ambiente. www.sema.rs.gov.br.
- CAETANO-CHANG, M. R. & Wu, F.T. DIAGÊNESE DE ARENITOS DA FORMAÇÃO PIRAMBÓIA NO CENTRO-LESTE PAULISTA. **Geociências**, v. 22, N. Especial, p. 33-39, 2003
- CAETANO-CHANG, M. R. A formação Pirambóia no centro-leste do Estado de São Paulo. 1997. 196 f. Tese (Livre Docência) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1997.
- CAETANO-CHANG, M. R. Ergs saturados e meta-saturados da formação Pirambóia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 41., 2002, João Pessoa. Anais... João Pessoa: SBG-NE, 2002. p. 657.
- Cotton, C. A. (1968) Geomorphology. Whitcombe & Tombs Limited. 502 p.
- Davis, S. N., DeWiest, S. (1966). Hidrogeology. John Wiley & Sons, Inc. New York. London. Sidney. 463 p.
- Garrels, R. M. (1951). A Text Book of Geology. Harper & Brothers. Publishers. New York. 511 p.
- Kuinchtner, A. & Buriol, G. A. (2001). Clima do Estado do Rio Grande do Sul Segundo a Classificação Climática de Köppen e Thornthwaite. *Disciplinarum Scientia. Série: Ciências Exatas*, v.2, n.1: 171-182.
- MILANI, E. J. **Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana Sul-Occidental**. 1997. 254 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.
- MILANI, E. J. Geodinâmica Fanerozóica do Gondwana sul-occidental e a evolução geológica da Bacia do Paraná. In: HOLZ, M.; DE ROS, L. F. (Eds.). **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CIGO/UFRGS, 2000. p. 275-302.
- MILANI, E. J.; MELO, J. H. G.; SOUZA, P. A.; FERNANDES, L. A.; FRANÇA, A. B. Bacia do Paraná. **Boletim Geociências**. Petrobras, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 265-287, maio/nov. 2007
- NARDY, A. J. R.; MACHADO, F. B.; OLIVEIRA, M. A. F.; 2008. As rochas vulcânicas mesozóicas ácidas da Bacia do Paraná: litoestratigrafia e considerações geoquímico-estratigráficas. **Revista Brasileira de Geociências**. 38(1): 178-195.



- PEATE, D. W.; HAWKESWORTH, C. J.; MANTOVANI, M. S. M. Chemical stratigraphy of the Paraná lavas (South America): Classification of magma types and their spatial distribution. **Bull. Volcanol.**, Napoli, v. 55, p. 119-139, 1992.
- RADAMBRASIL. 1986. **Folha SH. 22 Porto Alegre e Parte das Folhas SH. 21 Uruguaiana e SI. 22 Lagoa Mirim: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra.** Levantamento de Recursos Naturais, Vol. 33.
- Rodriguez, E., C.S. Morris, J.E. Belz, E.C. Chapin, J.M. Martin, W. Daffer, S. Hensley, 2005, An assessment of the SRTM topographic products, Technical Report JPL D-31639, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California, 143 pp.
- ROISENBERG, A. & VIERO, P.; 2000. O vulcanismo mesozóico da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul. In: **Holz, M. & De Ros, L. F. (eds.) Geologia do Rio Grande do Sul, UFRGS-Cigo**, Porto Alegre. P. 355-374.
- ROISENBERG, A. *et al.* **Mapa geológico da folha Gravataí-SH.22-X-C-V, escala 1:100.000.** Porto Alegre: UFRGS/CPRM, 2007.
- SOARES, A. P., SOARES, P. C. & HOLZ, M. **Heterogeneidades hidroestratigráficas no Sistema Aqüífero Guarani.** Revista Brasileira de Geociências, 38(4): 598-617, 2008.
- Summerfield, M. (1997). Global Geomorphology. Longman Scientific and Technical, John Wiley and Sons. Inc. New York. 537 p.

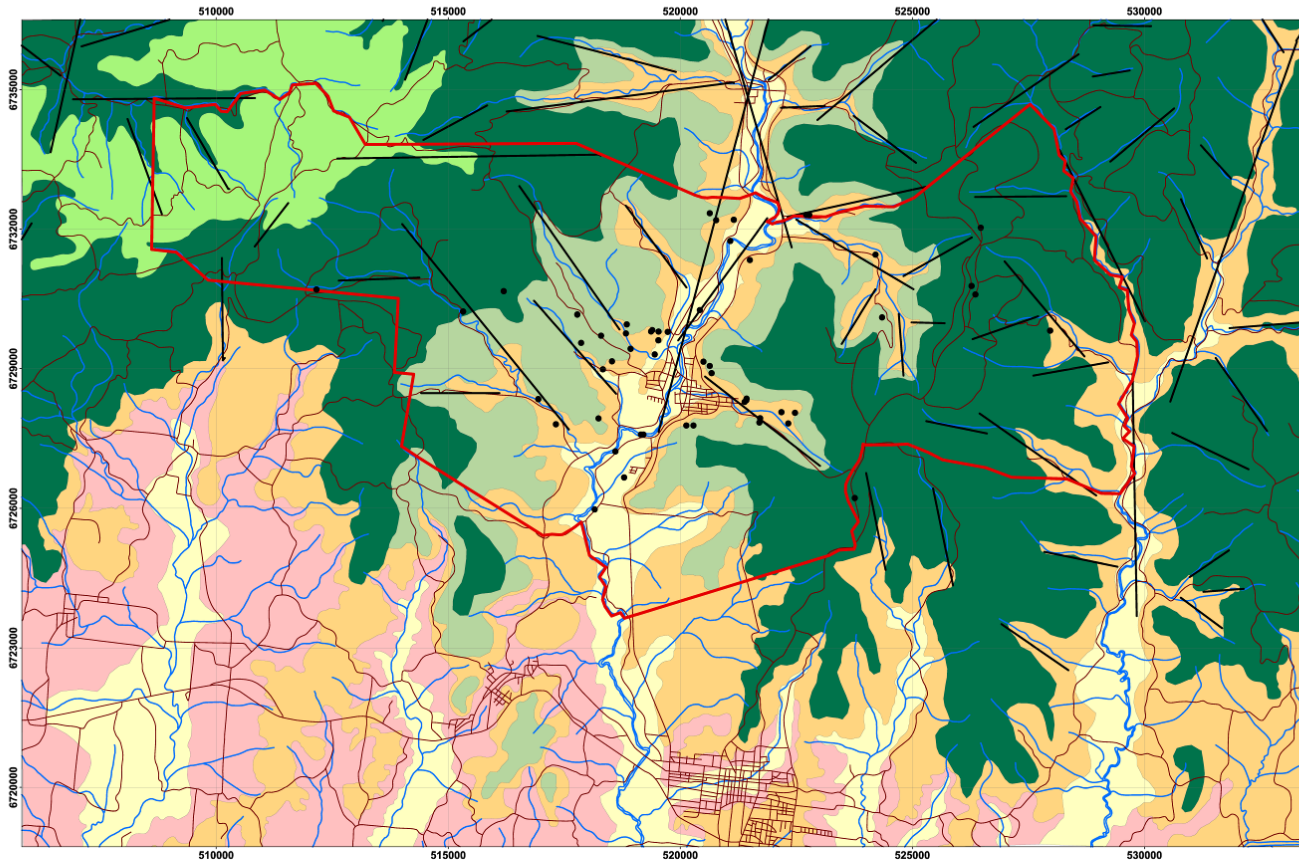


Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica



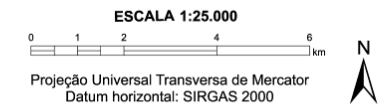
APÊNDICE 1

MAPA GEOLÓGICO DO MUNICÍPIO DE IGREJINHA



ERA	PERÍODO	ÉPOCA	IDADE	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS
CENOZÓICO	NEÓGENO	HOLECENO	0,01	DEPÓSITOS DE SISTEMA HOLOCÊNICO Depósitos coluviais e canal fluvial; sedimentos inconsolidados constituídos por areias conglomeráticas, areias silico-argilosas, matácões, blocos, cascalhos e seixos angulosos a subarredondados de arenitos e basaltos.
			1,8	
65,5				
MESOZÓICO	CRETÁCEO	INFERIOR	145	PROVÍNCIA PARANÁ GRUPO SÃO BENTO Formação Serra Geral: derrames de basalto, basalto andesitos, riolitos e riolitos. Fácies Caxias do Sul: derrames de composição intermediária e ácida, maciços com textura esférica muito característica, texturas de fluxo, derrames granulares finos a microfaneríticos, horizontes superiores com disjunção tabular regular bem desenvolvida e raras cinza a avermelhadas. Fácies Gramado: derrames basálticos granulares finos a médios, com horizontes vesiculares, disjunções verticais e horizontais e intercalação com os arenitos Botucatu; Basaltos I - primeiro nível de derrames, normalmente bastante alterado, incipiente horizonte maciço, um horizonte vesicular bem desenvolvido. Vesículas total ou parcialmente preenchidas por um ou mais minerais como quartzo e zeolitas. Arenitos intertrápicos Botucatu; Basaltos II - segundo nível de derrames, normalmente pouco alterado, disjunções colunares bem desenvolvidas, cor preta a cinza escura.
			200	
PALEOZÓICO	JURÁSSICO		251	GRUPO PASSA DOIS Formação Botucatu: Arenitos bimodais, finos a médios, de cor rosa-claro, bastante litificados, com grãos foscos variando de subarredondados a arredondados e normalmente bem selecionados. Ambiente continental desértico de dunas eólicas.
			251	
PALEOZÓICO	PERMIANO			GRUPO PASSA DOIS Formação Pirambóia: Arenitos finos a grossos, moderadamente selecionados, de cor creme e castanho claro, com matriz lamitica. Associação de fácies eólicas, predominante, e fácies fluviais subordinadas.

- CONVENÇÕES GEOLÓGICAS**
- Contato
 - Lineamentos
 - Pontos de controle
- CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS**
- Área Igrejinha
 - Drenagens
 - Malha viária





PONTOS	X	Y	Z	LITOLOGIA
1	520675	6728902	93	Basalto
2	520638	6729057	120	Arenito/Basalto
3	524208	6731450	75	Arenito
4	524351	6730102	197	Basalto
5	522715	6732308	49	Arenito
6	521721	6727935	80	Arenito
7	521706	6727842	95	Basalto
8	521429	6728353	82	Arenito/Basalto
9	522472	6728050	119	Arenito
10	523763	6726220	270	Basalto
11	526278	6730777	380	Basalto
12	527489	6737521	485	Ácidas
53	526476	6732027	400	Basalto
54	526360	6730593	429	Basalto
13	527970	6729818	198	Arenito
14	517323	6727804	40	Arenito
15	516944	6728344	66	Basalto
16	516199	6730665	240	Basalto
17	517783	6730164	128	Basalto
18	515323	6730226	104	Basalto
19	521155	6732199	71	Arenito
20	522783	6732305	71	Arenito
21	518531	6729157	79	Arenito
22	520286	6727778	111	Basalto
23	520132	6727778	101	Arenito/Basalto
24	518848	6729951	67	Arenito/Basalto
25	522181	6728065	80	Arenito
26	518242	6727929	95	Arenito/Basalto
27	518603	6727221	33	Arenito
28	518335	6728983	45	Arenito
29	521078	6731746	41	Arenito
30	521502	6731333	65	Arenito
31	520424	6730257	38	Arenito
32	520502	6729149	79	Arenito
33	521389	6728286	72	Arenito
34	521423	6728319	78	Arenito
35	522329	6727822	92	Arenito
36	518791	6726659	30	Arenito
37	519154	6727582	35	Basalto
38	519208	6727582	34	Basalto
39	519453	6729305	40	Basalto
40	519535	6729797	71	Basalto
41	519400	6729828	66	Arenito
42	519373	6729798	58	Arenito



43	517866	6729554	96	Basalto
44	518297	6729707	108	Basalto
45	512163	6730700	254	Basalto
46	520637	6732340	140	Basalto
47	520775	6732189	115	Arenito/Basalto
48	518159	6725974	30	Arenito
49	518931	6729427	54	Arenito/Basalto
50	518831	6729756	55	Arenito/Basalto
51	519530	6729611	50	Arenito/Basalto
52	519731	6729791	44	Arenito/Basalto

APÊNDICE 2 – TABELA COM TODOS OS PONTOS DE CONTROLE DA GEOLOGIA



MINISTÉRIO DAS CIDADES

Secretaria Nacional de Acessibilidade e Programas Urbanos

Departamento de Assuntos Fundiários Urbanos e Prevenção de Riscos

Elaboração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais no Município de Igrejinha, RS

Relatório de Ensaios Geotécnicos

Ensaios de caracterização física e cisalhamento direto

(Solos de Alteração de Basalto e de Arenito Botucatu)

LAGEOtec

Departamento de Engenharia Civil

UFRGS

1. Introdução

O presente relatório apresenta os resultados obtidos em ensaios de caracterização física e cisalhamento direto executados 2 solos representativos de situações típicas características do município de Igrejinha:

- (a) um solo saprolítico de basalto da região de uma grande ruptura com vítimas (ruptura do bairro Saibreira;
- (b) um solo de alteração avançada (eluvial) que recobre o maciço de arenito Botucatu, local da ruptura junto da escola Anita Garibaldi.

Os ensaios de cisalhamento direto foram feitos em corpos de prova preparados em 2 condições de densificação, denominadas de estado fofo e estado denso. Ambas foram preparadas por compactação estática em cilindros metálicos.

No caso do solo de basalto, houve um especial interesse no destorroamento já que este material apresentou grande alteração conforme a técnica utilizada, o que é um bom indicador de sua fragilidade mecânica. Como os métodos de preparação dos corpos de prova não seguiram procedimentos convencionais, por interesse de estudos específicos, e há diferenças na preparação entre os solos, os detalhes de preparação serão descritos juntamente aos resultados.

2. Local de amostragem comentários sobre solos

As amostras foram coletadas de forma deformada em campo, a partir dos materiais remanescentes das duas rupturas.

No caso da ruptura do bairro Saibreira, a região é formada pela alteração de um derrame vulcânico que apresenta uma composição mineralógica especial. O material resultante tem o aspecto de uma rocha alterada, com blocos dispersos e aspecto de material de reativa competência mecânica. No entanto, a ruptura que houve no local, mostro que a resistência ao cisalhamento é mais baixa do que se poderia esperar pelo seu aspecto. O solo amostrado na data da amostragem (05 de setembro de 2013) havia sido remobilizado por novas rupturas rotacionais que ocorreram poucos dias antes, em virtude de 3 a 4 dias de chuvas intensas. Com isto foi possível coletar material característico do movimento rotacional, como mostrado na

Figura 1. No local de coleta havia a presença de blocos de rocha alterada de diversos tamanhos (de 2 a 30 cm), imersos numa matriz de material solto, facilmente escavável. A Figura 2 mostra uma foto do solo coletado.

No local da ruptura da escola A.Garibaldi, em que ocorreu uma ruptura translacional bastante rasa, foi coletado o material remanescente deste movimento no pé da ruptura (Figura 3). Trata-se de um material que se apresentava em campo com comportamento francamente arenoso, como confirmado pelos ensaios.

Foram executados ensaios de caracterização granulométrica, limites de liquidez e plasticidade e determinação do peso específico real das partículas dos dois materiais, seguindo as técnicas e normas convencionais.



Figura 1. Solo saprolítico de basalto exposto na ruptura reativada do bairro Saibreira.

3. Resultados dos ensaios de caracterização

3.1. Limites de plasticidade e peso específico real dos grãos

Os resultados dos ensaios de caracterização física dos solos de alteração são apresentados a seguir.
Na

Tabela 1 são apresentados os índices físicos dos materiais analisados. Na Figura é fornecida a localização dos solos 1 e 2 dentro da carta de plasticidade, indicando que ambos os solos apresentam características de argilas inorgânicas de média plasticidade. Note que o material arenoso (solo eluvial de Botucatu) é não plástico.



Figura 2. Solo saprólítico de basalto – aspecto do solo seco em laboratório.



Figura 3. Aspecto do local de amostragem do solo arenoso da ruptura da Escola A. Garibaldi.

Tabela 1. Características físicas dos solos analisados.

Material	Solo Arenito (Esc. Garibaldi)	Solo Basalto (Saibreira)	
		Integral	Passante # 4
γ_s (kN/m ³)	25,80	26,20	27,16
LL (%)	NP	30,1	49,3
LP (%)	NP	23,5	27,8
IP (%)	NP	6,6	21,5

Nota: W_{nat} – teor de umidade natural; γ_s – peso específico real dos grãos; LL – limite de liquidez; LP – limite de plasticidade; IP – índice de plasticidade; n.d. – não determinado.

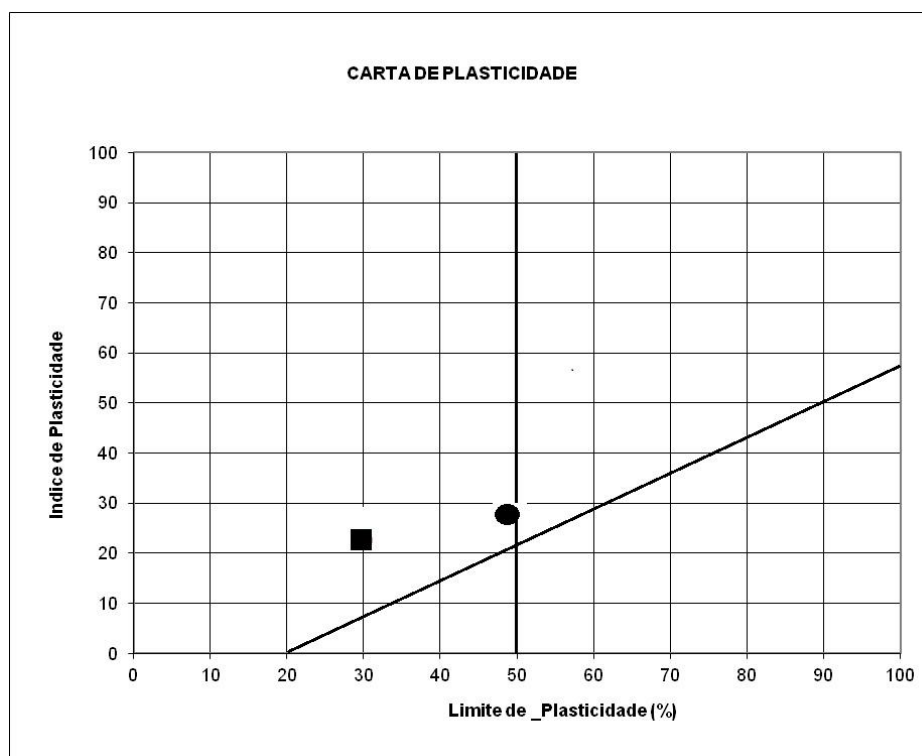


Figura 4. Localização dos solos de basalto dentro da Carta de Plasticidade de Casagrande.

3.2. Granulometria dos solos

a) Solo eluvial de arenito

A análise granulométrica foi executada através dos métodos de peneiramento, para as partículas com diâmetro máximo superior a 0,074 mm e por sedimentação com uso de solução defloculante para as partículas de diâmetro máximo equivalente inferior a 0,074 mm. A solução defloculante utilizada foi hexametáfosfato de sódio.

A Figura 5 apresenta a curva granulométrica do solo eluvial de arenito, que mostra que o material foi convertido em um material arenoso com poucos finos. A forma de evolução pedogenética que levou à sua formação, removeu os finos deixando in situ apenas a matriz arenosa. Esta lixiviação deixou 81% de partículas do tamanho areia média e fina (Tabela 2), com somente 19% de material fino.

b) Solo saprolítico de basalto

A preparação do solo para a determinação da granulometria do solo saprolítico de basalto indicou imediatamente uma característica importante de comportamento geomecânico. Ao preparar a amostra da maneira convencional (destorroamento manual do solo seco ao ar), o técnico de laboratório percebeu que os grãos grosseiros presentes eram bastante frágeis, sendo preciso pouco esforço manual para quebrá-los em partículas menores. Na figura 6 está representado um grão (com cerca de 2,5 a 4,0 cm) o qual foi quebrado com facilidade por flexão manual.

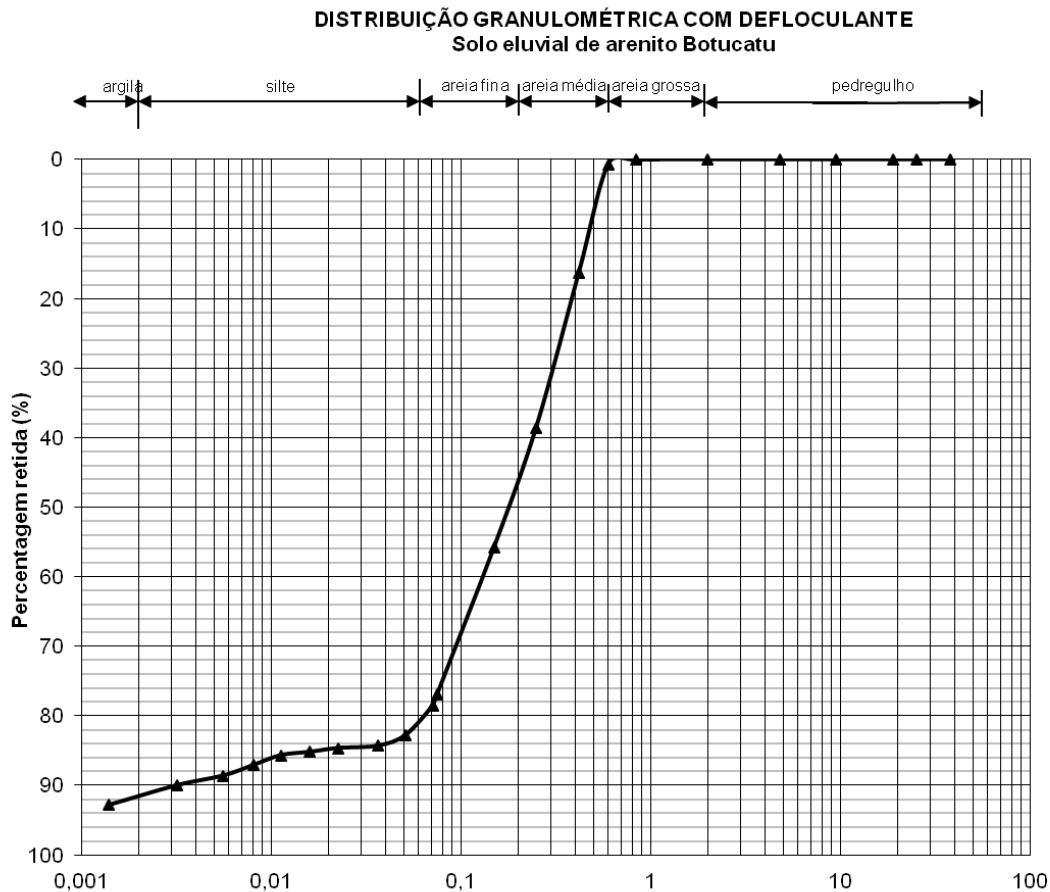


Figura 5. Curva granulométrica do Solo Eluvial de Arenito.



Figura 6 – Fragilidade dos grãos grosseiros do solo saprolítico de basalto.

A partir desta constatação, foram feitas duas preparações de amostras para ensaios de granulometria: (a) a primeira em que o solo foi manuseado com cuidado, sendo minimamente manipulado para separação dos grãos; e (b) a utilização de destorroamento convencional com almofariz e mão de gral, onde os grãos frágeis são rompidos em grãos menores.

Os resultados evidenciaram uma grande diferença de granulometria, e de comportamento, os quais estão representados pelas resultados percentuais (Tabela 2), pelas curvas granulométricas representadas na Figura 7 e pelo aspecto final do solo, representados pela foto da Figura 8. O mesmo solo, que em campo tem uma característica tátil-visual de material grosseiro, o que é confirmado pela sua granulometria com 68% de pedregulho (>2,0mm), se transforma em um solo preponderantemente fino (60% com partículas < 0,007mm).

Tabela 2. Composição granulométrica dos solos ensaiados

Fração	Solo de Arenito (Garibaldi)	Solo de basalto (Saibreira)	
		Sem destorroar	Destorroadado
Pedregulho	0	68	0
Areia grossa	0	19	8
Areia média	47	10	13
Areia fina	34	3	19
Silte	11	0	40
Argila	8	0	20

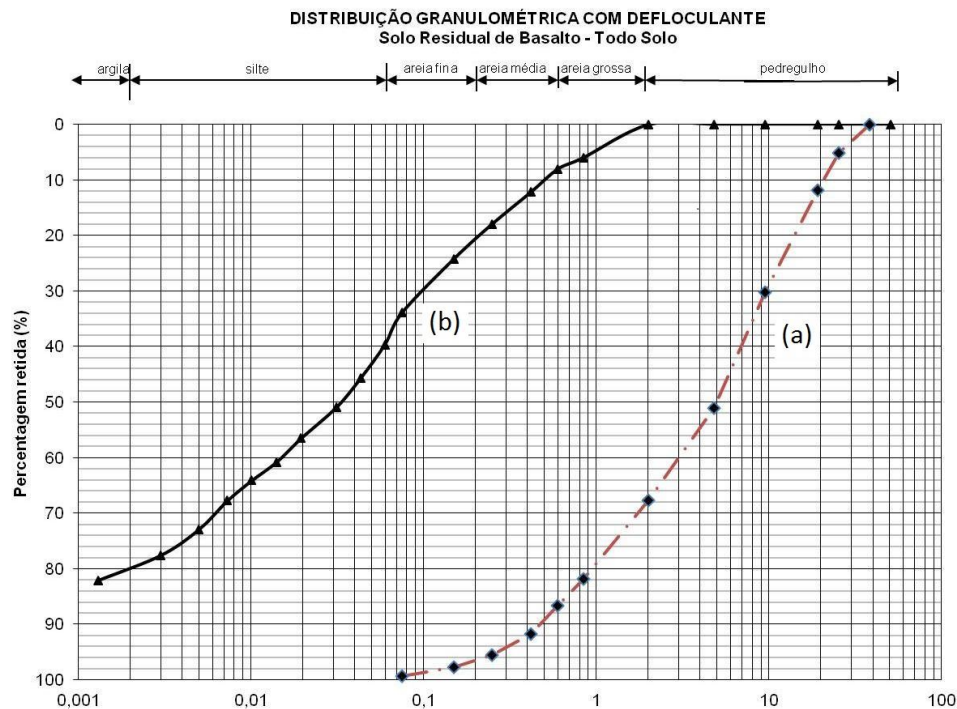


Figura 7 Curvas granulométricas do solo saprolítico de basalto em função do destorroamento; (a) solo intacto (manuseio cuidadoso); (b) solo destorroado.

4. Resultados dos ensaios de cisalhamento direto no solo saprolítico de basalto

Os ensaios foram executados em um equipamento de cisalhamento direto convencional, do tipo deformação controlada, da marca Wikeham Farrance Int. Este equipamento ensaia corpos de prova de 60 mm de diâmetro e 20 mm de altura. A tensão normal do ensaio foi aplicada através de pesos colocados em um pendural simples ou com braço de alavanca. Todos os corpos de prova foram inundados por pelo menos 12 horas antes de serem ensaiados. A velocidade de deslocamento horizontal utilizada nos ensaios foi de 0,0244 mm/min (0,00096 pol/min). Os ensaios tiveram 4 a 5 horas de duração por corpo de prova.

As tensões verticais utilizadas foram de 50; 100 e 200kPa.

Foram preparados corpos de prova com duas densidades (fofos e densos) por compactação estática numa prensa convencional para 2 situações:

- a) Corpos de prova no solo passante na peneira #4 (4,8mm), sem destorroamento inicial;
- b) Corpos de prova no solo completamente destorroado (99,89% passante na peneira de 2,0mm).

4.1 Solo sem destorroamento (passante na peneira #4 , < 4,8mm)

O solo foi submetido à secagem ao ar e após peneirado na peneira # 4 (abertura de malha 4,8mm) sem a quebra dos grãos. Somente a porção mais fina foi utilizada no ensaio, descartando os grãos de diâmetro maiores. Após esse procedimento o solo passante foi *destorroado para a moldagem* dos corpos de prova a serem utilizados no ensaio de cisalhamento direto.

Nesse momento o solo ficou com grãos inferiores a 2,0mm, e foi umedecido na umidade de campo, armazenado em um saco plástico, hermeticamente fechado, e colocado na câmara úmida, permanecendo por mais de 24 horas, para uma melhor homogeneização. A moldagem foi feita numa prensa de compactação estática.

Foram feitas 2 seqüências de ensaios: no estado denso e no estado fofo. A Tabela 3 contém as características dos corpos de prova ensaiados.

Tabela 3. Características médias dos corpos de prova do material passante na #4.

Parâmetro / estado		CP 1 (50kPa)	CP 2 (100 kPa)	CP 3 (200 kPa)
	γ_s (kN/m ³)	27,16		
Solo fofo	W_{nat} (%)	14,11	14,13	14,07
	γ_t (kN/m ³)	13,02	13,34	13,37
	γ_d (kN/m ³)	11,41	11,69	11,72
	e_i	1,38	1,32	1,32
	S_i (%)	28,3	29,6	29,6
Solo denso	W_{nat} (%)	14,27	14,36	14,33
	γ_d (kN/m ³)	16,68	16,66	16,56
	e_i	0,63	0,63	0,64
	S_i (%)	63,0	63,1	62,0

Nota: W_{nat} – teor de umidade natural; γ_s – peso específico real dos grãos; γ_t – peso específico total; γ_d – peso específico seco; e_i – índice de vazios; S_i – grau de saturação.

Os gráficos (a) tensão cisalhante x deslocamento horizontal, (b) deslocamento vertical x deslocamento horizontal e (c) as envoltórias de resistência ao cisalhamento de pico dos solos estudados encontram-se apresentados em Anexo.

Os principais resultados obtidos em termos de parâmetros de cisalhamento estão resumidos na Tabela 4 abaixo.

Tabela 4 – Parâmetros obtidos dos ensaios de cisalhamento direto no solo passante na #4 (condição inundada)

Densidade / condição	C (kPa)	ϕ (°)	Observações
CP denso - pico	42,0	34,2	Condições de pico

CP denso – grandes desloc.	6,9	30,0	Grande perda coesiva
CP fofo	1,8	32,2	Não há queda de resistência

4.2 Solo com destorroamento integral

Neste procedimento todo o solo foi destorroado manualmente, tendo sido obtida uma quase completa quebra dos grãos. Ao final do processo, a porcentagem de solo passante na peneira de 2,0mm foi praticamente total (de 99,89%) Isto é um forte indicativo da fragilidade dos grãos do solo, e da importância da mineralogia deste material (veja o aspecto do solo resultante na Figura 8).



Figura 8 - Aspecto do solo após destorroamento manual – destruição completa dos grãos de maior diâmetro, material 99% passante na peneira #4 (2,0mm).

O solo foi umedecido na umidade de campo e selado por 24h esperando a homogeneização do mesmo. Após esse procedimento foram moldados os corpos de prova para os ensaios de cisalhamento direto. Os resultados de cisalhamento direto deste solo também são apresentados no Anexo, sendo de destacar que, no estado fofo, os valores de coesão se anulam e o ângulo de atrito interno permanece da mesma ordem de grandeza dos demais ensaios (Tabela 5).

Tabela 5 – Parâmetros obtidos dos ensaios de cisalhamento direto no solo passante na #4 (condição inundada)

Densidade / condição	C (kPa)	ϕ (°)	Observações
CP fofo	0,1	34,0	Sem definição de pico

5. Ensaios de resistência residual (ring shear)

Em função dos resultados obtidos com a desagregação do solo de basalto, foi decidido realizar ensaios de grandes deformações no solo destorroado de basalto.

O solo foi preparado a partir de amostra passante na peneira 4 sem destorroar (solo natural). O solo foi submetido inicialmente à secagem ao ar e após peneirado na peneira # 4 (abertura de malha 4,8mm) sem a quebra dos grãos, descartando-se os grãos maiores. Após esse procedimento o solo passante foi destorroado para a moldagem dos corpos de prova a serem utilizados no ensaio de Ring Shear, obtendo-se uma amostra com grãos inferiores a 0,42mm. Para preparação dos corpos de prova, o solo foi umedecido na umidade próxima ao Limite de Plasticidade e armazenado no saco plástico, hermeticamente fechado, e colocado na câmara úmida, permanecendo por mais de 24 horas, para uma melhor homogeneização. A moldagem foi feita após esse procedimento.

Os principais resultados encontram-se apresentados na Figura 9, onde os resultados de cisalhamento em 3 níveis de tensão podem ser observados. O valor dos parâmetros de resistência foram $c' = 4,2$ e $\phi' = 16,5^\circ$, o que corresponde a uma redução para cerca da metade do valor de pico.

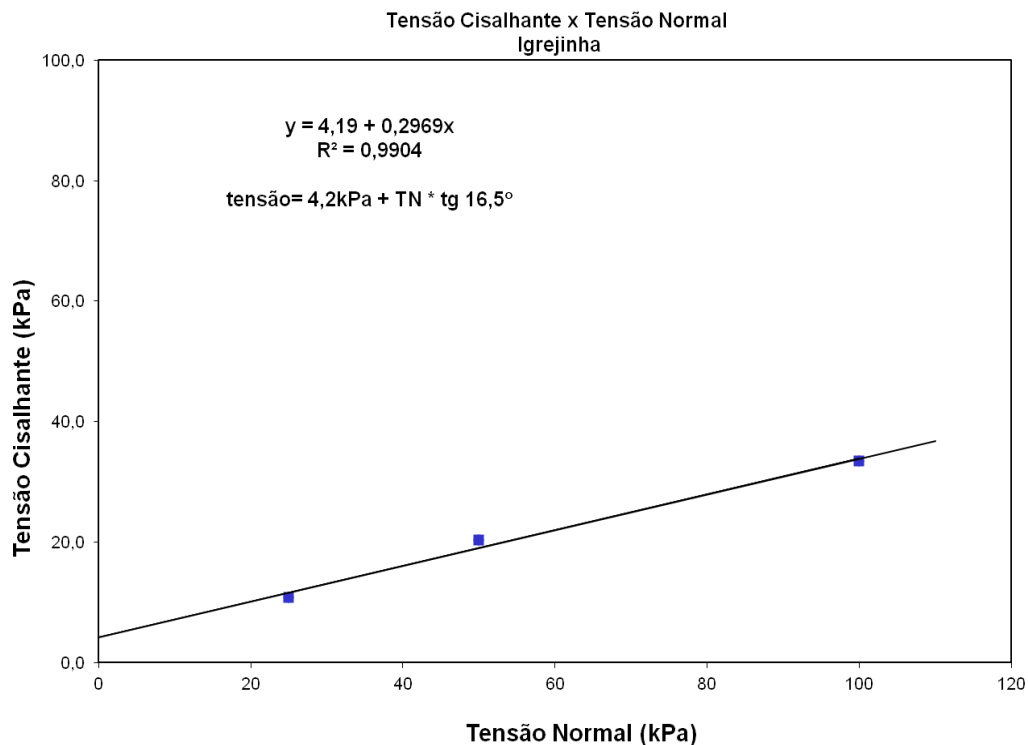


Figura 9 – Resultados de ensaios de ring-shear no solo residual de basalto 1 (Saibreira).

6. Comentários finais

Os solos analisados apresentaram comportamento bastante diferenciado, tanto na análise tátil-visual quanto nos resultados de laboratório.

O solo eluvial de arenito coletado nos depósitos ao pé de uma ruptura, demonstrou ser um material francamente arenoso, não plástico e com somente 19% de material fino. Como as rupturas de campo foram em camadas delgadas (menos de 1,0m), com forte presença de raízes, seu comportamento na ruptura em campo não pode ser representado pelos ensaios convencionais de cisalhamento.

O solo de basalto estudado pode ser classificado em campo como uma rocha alterada ou como um solo grosseiro, com base na sua composição granulométrica. Entretanto, este solo apresentou uma fragilidade importante já que facilmente se transforma em um silte pouco plástico por destorroamento manual (de baixa energia). Embora possa ser descrito como rocha alterada desagregável, em laboratório seu comportamento variou com o nível de preparação, desde um solo grosseiro (pedregulhos) até apresentar o comportamento de um solo silto-arenoso.

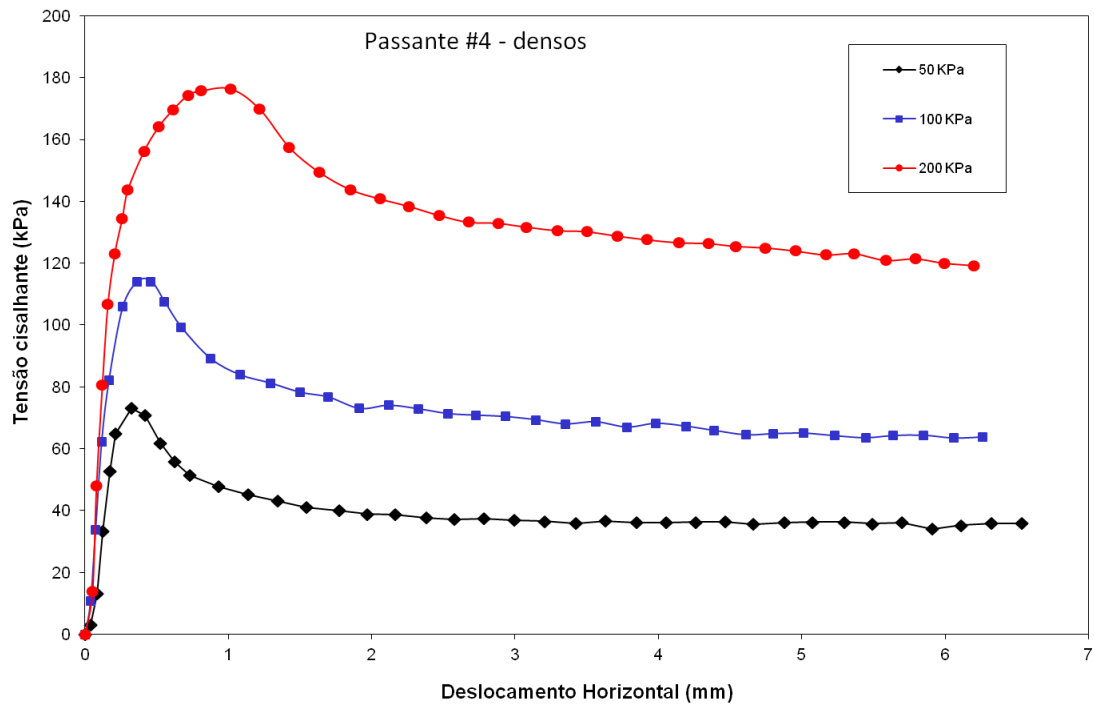
Este comportamento frágil do solo saprolítico de basalto é de grande interesse, já que o solo apresenta uma grande degradação mecânica (granulometria) que se reflete no parâmetro coesivo da resistência, a qual reduz-se de valores próximos de 40kPa a valores praticamente nulos, em amostras preparadas em laboratório com diferentes densidades.

Os ensaios de ring shear demonstraram que o solo tem uma redução de resistência considerável com a deformação, tendo-se obtido valores de 16,5 para o ângulo de atrito interno nestas condições.

Considerando as grandes dificuldades de obtenção de amostras indeformadas de ambos os solos para ensaios (problemas técnicos para amostragem e realização da moldagem para ensaios), é importante prosseguir com os estudos em relação ao seu comportamento de campo, com ênfase no estudo da estrutura e densidade, efeitos de raízes e da sucção.

ANEXOS

Tensão Cisalhante x Deslocamento Horizontal
Solo Residual de Basalto - Passante # 4 - Denso



Deslocamento Vertical x Deslocamento Horizontal
Solo Residual de Basalto - Passante # 4 - Denso

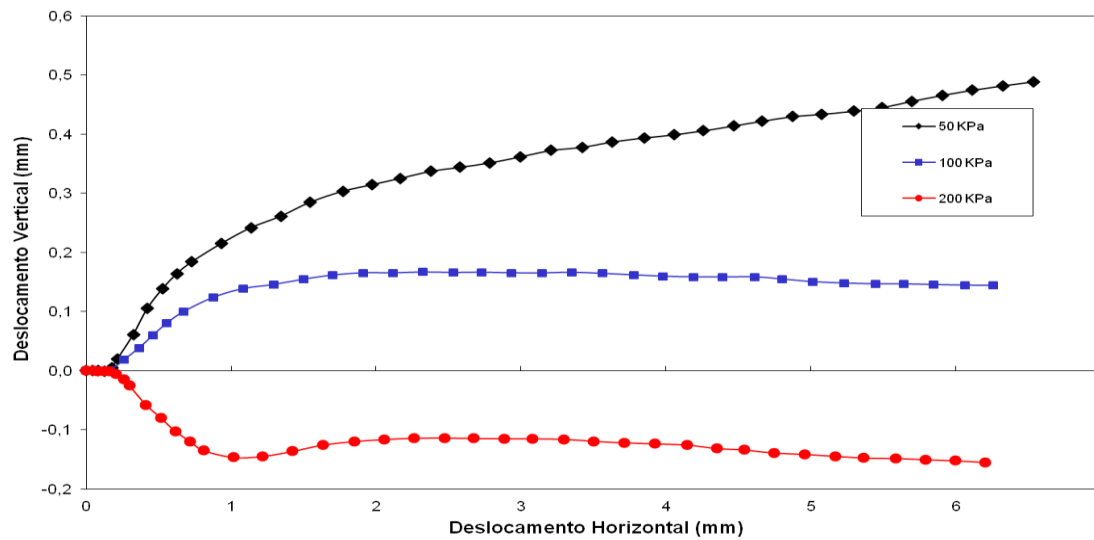


Figura A1 – Resultados de cisalhamento direto no solo saprolítico de basalto passante na #4 – estado denso. Curvas “tensão cisalhante e deslocamento vertical x deslocamento horizontal”.

Envoltória de Resistência ao Cisalhamento de Pico e Pós Pico
Solo Residual de Basalto - Passante #4 - Denso

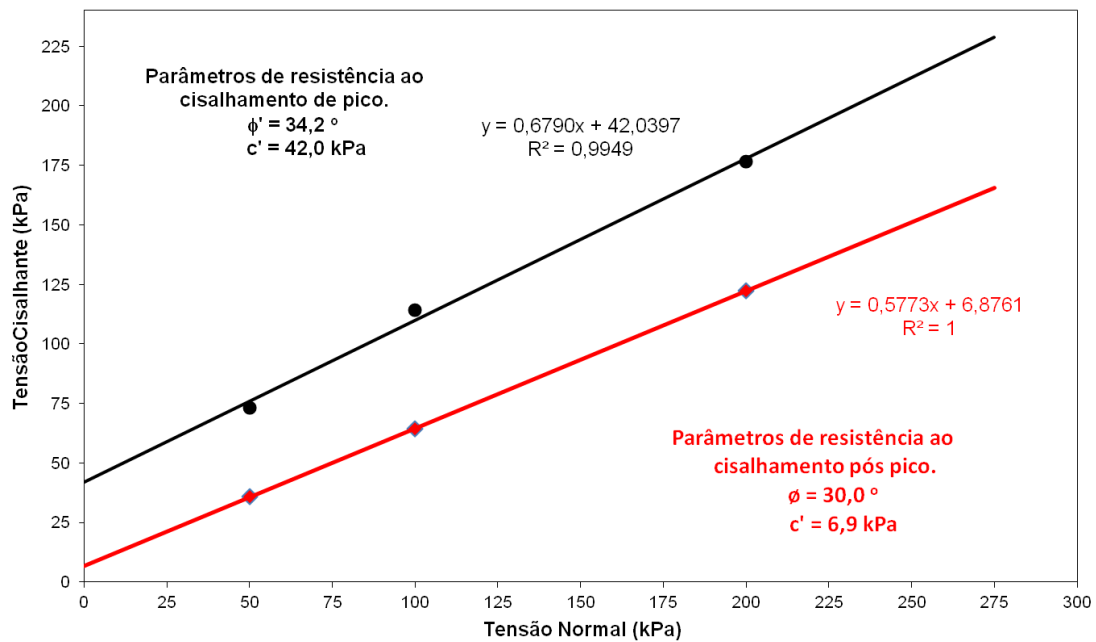
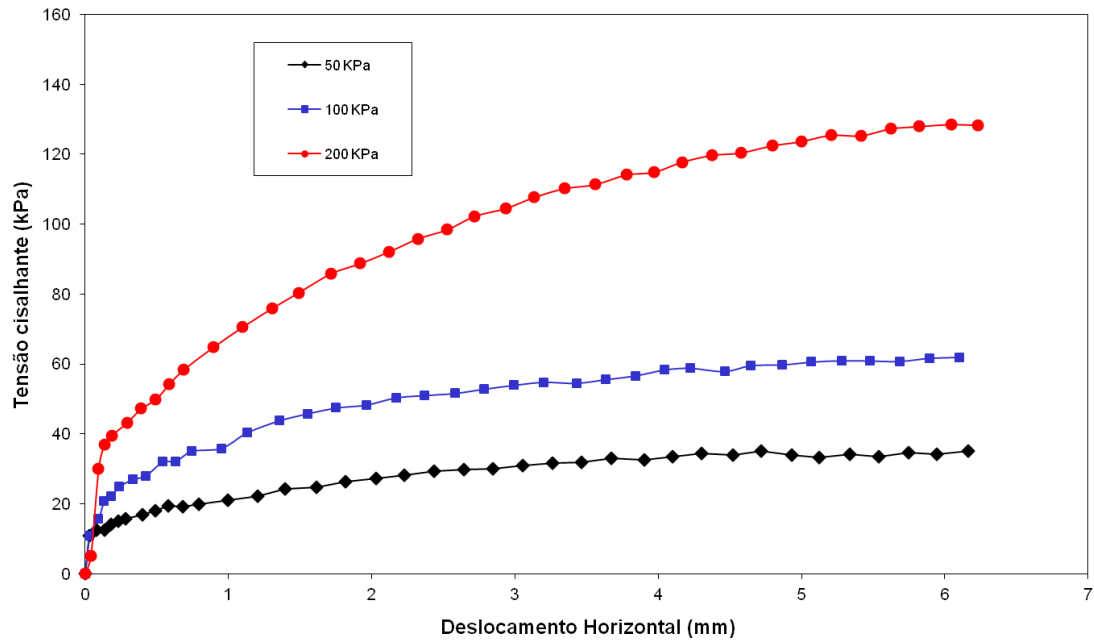


Figura A2 – Resultados de cisalhamento direto no solo saprolítico de basalto passante na #4 – estado denso. Envoltórias de resistência ao cisalhamento para condição de pico e de grandes deslocamentos.

Tensão Cisalhante x Deslocamento Horizontal
Solo Residual de Basalto - Passante # 4 - Fofó



Deslocamento Vertical x Deslocamento Horizontal
Solo Residual de Basalto - Passante # 4 - Fofó

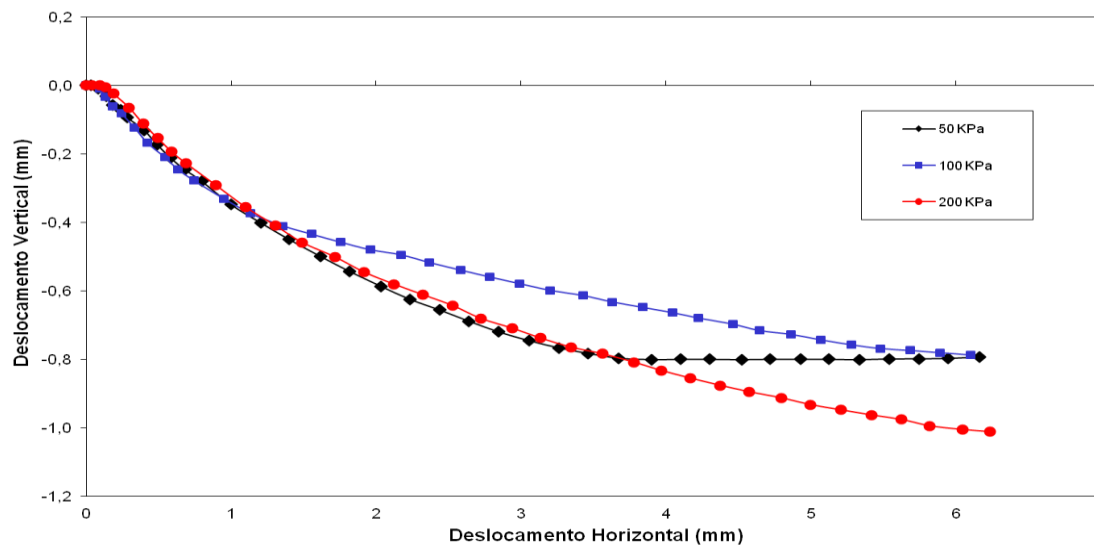


Figura A3 – Resultados de cisalhamento direto no solo saprolítico de basalto passante na #4 – estado fofó. Curvas “tensão cisalhante e deslocamento vertical x deslocamento horizontal”.

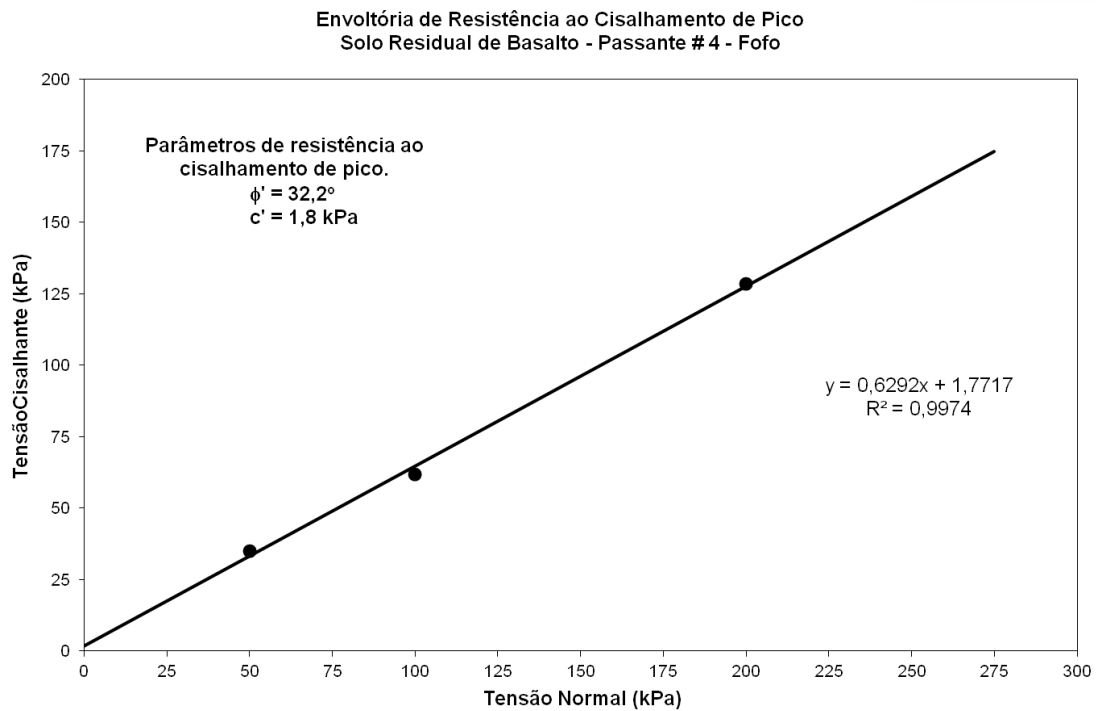


Figura A4 – Resultados de cisalhamento direto no solo saprolítico de basalto passante na #4 – estado fofo. Envoltórias de resistência ao cisalhamento para condição de pico e de grandes deslocamentos.

Envoltória de Resistência ao Cisalhamento de Pico
Solo Residual de Basalto - Todo Solo - Fofa

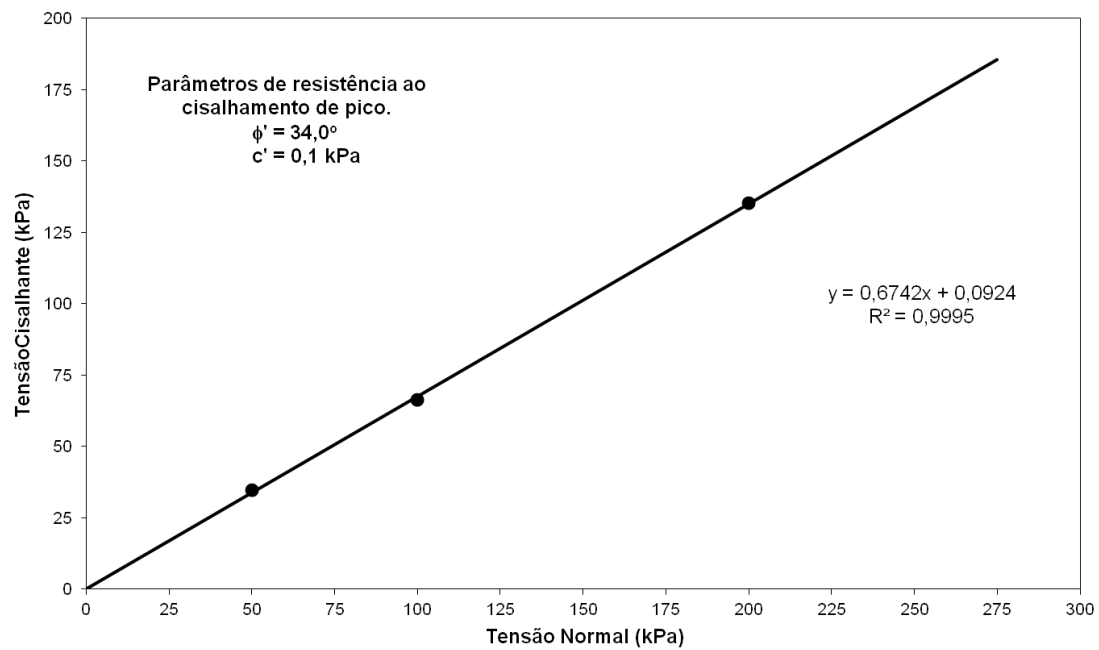


Figura A5 – Resultados de cisalhamento direto no solo saprolítico de basalto integral – estado fofo. Envoltória de resistência ao cisalhamento.



MINISTÉRIO DAS CIDADES

Secretaria Nacional de Acessibilidade e Programas Urbanos

Departamento de Assuntos Fundiários Urbanos e Prevenção de Riscos

Elaboração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais no Município de Igrejinha, RS

Relatório de Cartografia e Geração de MDT 1:25.000

**LABGEO/CPGq
UFRGS**



GERAÇÃO DO MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO ESCALA 1:25.000

Rafael Ribeiro, Norberto Dani, Saulo Borsatto, Nelson Lisboa

Resumo:

Este é um breve relatório técnico da construção do MDT na escala 1:25.000 do município de Igrejinha, Rio Grande do Sul, com imagens do sensor PRISM do satélite japonês ALOS.

1. Introdução

Na construção do modelo digital do terreno (MDT) do município de Igrejinha utilizamos um par de imagens do satélite ALOS. Este satélite possui um sensor chamado de PRISM (*Panchromatic Remote-sensing instrument of Stereo Mapping*), e suas imagens abrangem o comprimento de onda entre 0,52 e 0,77 μm , sua resolução radiométrica é de 8 bits e a resolução espacial é de 2,5 m. Ele pode obter simultaneamente imagens com visadas na nadir, inclinada para frente (*forward*) e inclinada para trás (*backward*). Por questões econômicas utilizamos somente as imagens com visadas no nadir e no *backward*, visto que cada uma das imagens é comercializada individualmente.

2. Materiais e Métodos

2.1 Levantamento de campo

No total foram adquiridos 24 pontos de controle no terreno, com o método de posicionamento relativo estático. Os pontos de controle foram determinados através do sistema GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*), com o emprego de dois receptores GPS Pro Mark 500/RTK, utilizamos uma base local do IBGE localizada no município de Igrejinha (n° 93818). A distribuição dos pontos foi determinada pela abrangência geográfica na cena e pela representatividade das diferentes cotas altimétrica contidas na mesma.

2.2 Geração do MDT

A correção geométrica das imagens e a geração do MDT foi realizada no *software* LPS com o módulo *Automatic Terrain Extraction (ATE)*. Os pontos de controle, assim como os *tie points* (pontos de ligação) foram identificados e posicionados de forma manual em cada uma das imagens. O processo de correspondência para determinação dos pontos homólogos foi realizado pelo coeficiente de correlação como medida de similaridade entre as imagens. Determinados os pontos correspondentes, as coordenadas são calculadas por interseção espacial (Oliveira e outros, 2013). O MDT foi gerado na estrutura de TIN (*triangular irregular network*) com resolução de 10 m. Após a geração do MDT, procedemos ao trabalho de edição, que foi realizado manualmente sobre as áreas anômalas do modelo. Os resíduos dos pontos de controle e nos *tie points*, foram menores do que 1 pixel.

2.3 Acuracidade do modelo

Existe um padrão de referência tanto para os dados altimétricos como planimétricos, que foi estabelecido pelas Normas Técnicas da Cartografia Nacional, através do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC). Conforme Decreto-lei n° 89817 de 1984, juntamente com as instruções reguladoras das Normas técnicas da Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR) que visa a avaliar estatisticamente um produto cartográfico e acordo com a exatidão posicional. Nesse caso, 90% dos pontos bem definidos em uma carta não deverão apresentar



erro superior ao Erro Planimétrico ou Altimétrico estabelecido quando testado no terreno. Essa percentagem corresponde a 1,6449 vezes o Erro Padrão (Nakahori e Souza, 2010).

Para avaliar a qualidade dos MDT comparou-se a elevação dos 24 pontos medidos em campo, com as elevações medidas sobre o MDT gerado pelo *software*. Posteriormente, foi calculado o Erro Quadrático Médio (EQM) destes pontos, sendo possível determinar o PEC do modelo. Esse processo foi importante para afetar a avaliação da escala que iríamos utilizar.

A altimetria foi calculada com o critério de classificação que diz: o PEC altimétrico para classe “A” é de metade da equidistância entre as curvas de nível. O EQM encontrado foi de 2,40 m, o que resulta em um PEC de 3,94 m. Se for considerado o PEC altimétrico classe A para escala 1:10.000, cuja equidistância das curvas de nível é de 5 m, pode-se observar que o MDT não possui precisão compatível com essa escala que seria de 2,5 m. Já para a escala 1:25000 com curvas de nível com equidistância de 10 m o PAC classe “A” é de 5 m, o que corresponde aos resultados que nós encontramos.

Para avaliar a exatidão planimétrica do MDE, julgou-se necessário verificar o PEC classe “A” para escala 1:25000 sendo 0,5 mm multiplicado pelo denominador da escala, que resulta em 12,5 m. As coordenadas E e N dos 24 pontos medidos em campo foram comparados com suas respectivas coordenadas na imagem ortoretificada. Os valores da média dos deslocamentos, desvio padrão e maior erro em 90% da amostra foram respectivamente 3,5 m; 1,8 m e 6,2 m. Concluímos que a ortoimagem se enquadra na especificação exigida para a escala 1:25.000 classe A.

3. CONCLUSÃO

Os resultados alcançados indicam que a acurácia das imagens ALOS para a geração do modelo digital do terreno apresentou padrão de acurácia esperado para a classe A do PEC somente para a escala 1:25.000 com equidistância das curvas de nível de 10m.

REFERÊNCIAS

- NAKAHORI, A. A. G. e DE SOUZA S. F. 2010. Geração e avaliação de ortoimagem alos/prism 1b1. Estudo de caso para São Gabriel-RS II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação Recife - PE, 27-30 de Julho de 2010 p. 001-004.
- OLIVEIRA, L. F., MEDEIROS, N. G., GALO, M. 2013. Análise de Modelos Digitais de Superfície extraídos de imagens PRISM/ALOS: Abordagem RPC. Revista Brasileira de Cartografia (2013) No 65/4:617-632.

MINISTÉRIO DAS CIDADES

Secretaria Nacional de Acessibilidade e Programas Urbanos

Departamento de Assuntos Fundiários Urbanos e Prevenção de Riscos

Elaboração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais no Município de Igrejinha, RS

Anexo 5

Diretrizes para incorporação das cartas geotécnicas no Plano Diretor e para os projetos de parcelamento do solo

Eloísa M.A. Giazzon, Luiz A. Bressani, Patrick Fontes, Cristiane Pauletti, Jocenei Bresolin, xx
GRID – Grupo de Gestão de Riscos de Desastres
Departamento de Engenharia Civil
UFRGS

1. Introdução

O município de Igrejinha/RS está inserido no cadastro nacional de municípios com áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos. É também um dos oito municípios prioritários para o desenvolvimento do Projeto de Mapeamento de Áreas Suscetíveis a Deslizamentos e Inundações no Estado do Rio Grande do Sul.

Os municípios incluídos neste cadastro nacional deverão: elaborar mapeamento contendo as áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos; elaborar carta geotécnica de aptidão à urbanização, estabelecendo diretrizes urbanísticas voltadas para a segurança dos novos parcelamentos do solo (Lei Federal 12.340/2010³, alterada pela Lei Federal 12.608/2012⁴).

O Plano Diretor dos municípios incluídos neste cadastro nacional, além de outras exigências estabelecidas através de alterações do Estatuto da Cidade – Lei Federal Nº 10.257/20015, decorrentes da Lei Federal 12.608, deverá conter: parâmetros de parcelamento, uso e ocupação do solo, de modo a promover a diversidade de usos; mapeamento contendo as áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos. A identificação e o mapeamento de áreas de risco levarão em conta as cartas geotécnicas. Os Municípios adequarão o plano diretor às disposições da legislação federal por ocasião de sua revisão, observados os prazos legais. Novas ampliações do perímetro urbano estarão sujeitas, entre outras exigências, a delimitação dos trechos com restrições à urbanização e dos trechos sujeitos a controle especial em função de ameaça de desastres naturais.

No que se refere ao parcelamento do solo, nos municípios inseridos no cadastro nacional de municípios com áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos, a aprovação do projeto de que trata o caput ficará vinculada ao atendimento dos requisitos constantes da carta geotécnica de aptidão à urbanização, conforme alteração promovida pela Lei 12.608/2012 no Artigo 12 da Lei 6.766/1979 (Lei Federal de 19 de dezembro de 1979, dispõe sobre o Parcelamento do Uso do Solo Urbano).

O território municipal de Igrejinha apresenta grande variação, apresentando cota de 20 metros no vale do Rio Paranhana, que corta sua área urbana, a 770 metros na área rural. Grande parte da área urbana está sujeita a inundações, enxurradas e movimentos de massa, caracterizando-se pelo registro freqüente de ocorrências relacionadas a estes processos. O núcleo urbano se originou à beira do rio, se desenvolveu ao longo de toda sua extensão nos limites municipais, e em áreas com declividades acentuadas.

O objeto deste Projeto é a definição de áreas com aptidão à urbanização expressada pelas cartas geotécnicas de inundação e de movimentos de massa, além da indicação de diretrizes para o uso e ocupação do solo para novos parcelamentos. No entanto, ao analisar as questões urbanas

³ A Lei Nº 12.340, de 1º de dezembro de 2010, dispõe sobre as transferências de recursos da União aos órgãos e entidades dos Estados, Distrito Federal e Municípios para a execução de ações de resposta e recuperação nas áreas atingidas por desastre, e sobre o Fundo Especial para Calamidades Públicas; e dá outras providências.

⁴ A Lei Federal Nº 12.608, de 10 de abril de 2012, instituiu a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil – CONPDEC. Com o objetivo de viabilizar a gestão integrada de riscos na gestão pública municipal, alterou leis federais, como a Lei 12.340/2010 e a Lei 10.257/2001, entre outras.

⁵ A Lei Nº 10.257, de 10 de julho de 2001 – Estatuto da Cidade, regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal, estabelecendo diretrizes gerais da política urbana.

presentes em Igrejinha, nos deparamos com uma parte significativa do espaço urbano consolidado inserida na área de abrangência dos movimentos de massa e, principalmente, das inundações.

Diante desta realidade, identificamos a importância de recomendações para a gestão pública objetivando a minimização do impacto dos desastres naturais do passivo existente – construções em terrenos regulares baldios e reforma e/ou ampliações de edificações existentes - através de normatização integrada a um processo educativo da população com vistas à gestão de riscos. Saliente-se que esta foi uma necessidade expressa pelos gestores públicos.

Neste sentido, idéias e proposições foram debatidas com gestores públicos das áreas de planejamento, habitação e meio ambiente e, junto aos demais resultados do projeto, apresentadas em reunião pública.

2. Metodologia

Tendo como objetivo atender as exigências de aplicação da legislação atual e destacar a importância das Cartas Geotécnicas no planejamento urbano do município, adotou-se no projeto piloto desenvolvido em Igrejinha/RS a seguinte metodologia:

- Pesquisa documental e análise das orientações do Ministério das Cidades;
- Análise da legislação federal - Lei Nº 12.608/2012, que gerou alterações na legislação relacionada ao planejamento urbano. Trata-se da aplicação das Cartas Geotécnicas como instrumento para o planejamento urbano dos municípios com ocupação urbana em áreas de risco e com ocorrência de desastres, bem como para futuros parcelamentos do solo e definição de áreas de expansão urbana.
- Revisão de textos e estudos sobre a aplicação das cartas geotécnicas na definição da aptidão de terrenos à urbanização, bem como diretrizes para os projetos de parcelamento do solo como instrumento de planejamento urbano a serem incorporadas pelo Plano Diretor;
- Análise da legislação municipal relacionada ao tema;
- Análise da evolução urbana de Igrejinha e da dinâmica recente do uso e ocupação do solo urbano;
- Visitas de campo, levantamento fotográfico e interação com técnicos e gestores da Coordenadoria Municipal de Defesa Civil (COMDEC) e dos setores de planejamento, habitação e meio ambiente;
- Formulação de diretrizes para uso e ocupação do solo – novos loteamentos e desmembramentos, para adequação do Plano Diretor às cartas geotécnicas de aptidão à urbanização quanto à inundação e aos movimentos de massa;
- Sugestão de medidas a serem adotadas no território urbano consolidado e sujeito a inundações ou movimentos de massa, no que se refere ao uso e ocupação de terrenos vagos provenientes de parcelamentos do solo já efetivados, bem como das reformas e ampliações de edificações em terrenos regulares, com vistas ao aumento da resiliência frente aos desastres.

3. O município de Igrejinha

Localização

A criação do Município de Igrejinha ocorreu em 1º de junho de 1964, quando se emancipou do município de Taquara. Localiza-se na parte leste do Estado do Rio Grande do Sul, a uma distância de 85 Km da capital, Porto Alegre. Tem como limite os municípios de Nova Hartz, Santa Maria do Herval, Três Coroas, Taquara e Parobé. Integra, desde 2011, a Região Metropolitana de Porto Alegre (Figuras 1 e 2). Sua área é de 136,8 km².



Figura 2: Localização do município de Igrejinha no Estado do Rio Grande do Sul. Fonte: adaptado de IBGE.

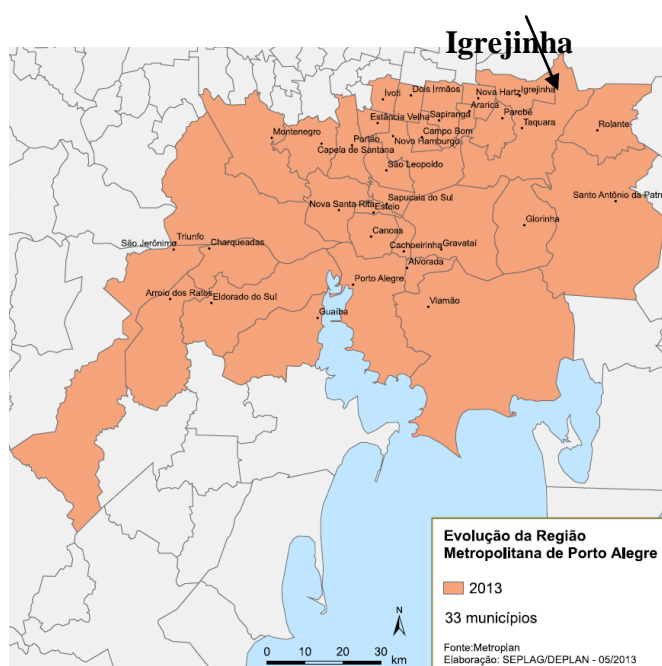


Figura 2: Municípios que compõem a Região Metropolitana de Porto Alegre (2013). Fonte: Metroplan.

População

A população total de Igrejinha, em 2010, era de 31.660 habitantes, 30.190 habitantes viviam na área urbana e 1.470 habitantes na área rural (dados do IBGE). O aumento populacional no período 2000-2010 foi de 18,28%. Neste período, o crescimento da população do Estado do Rio grande do Sul foi de 5,03%, significativamente inferior em relação ao município de Igrejinha.

Em 1980, o município de Igrejinha já era predominantemente urbano – 69,68% da população viviam na área urbana. Em 2010, a taxa de urbanização chegou a 95,35%.

Desde a criação do município, o crescimento da população foi significativo e contínuo, como demonstra o Gráfico 1.

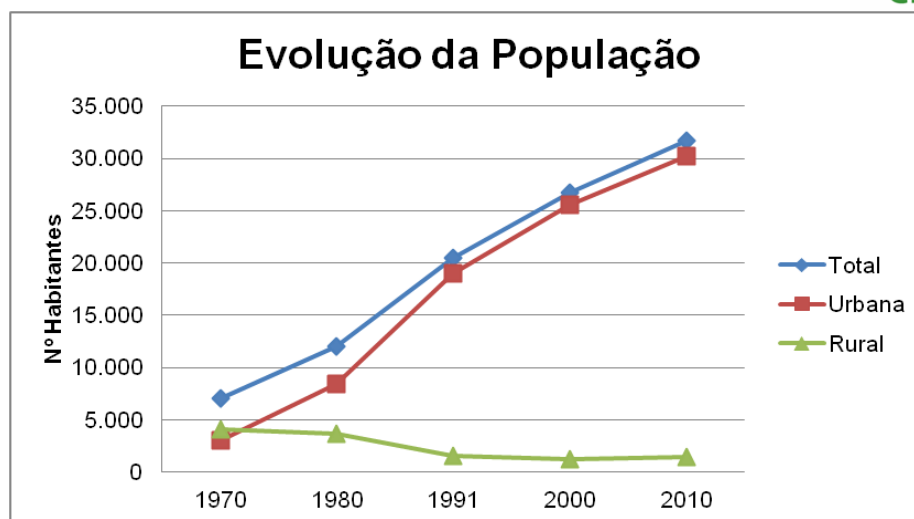


Gráfico 1: Evolução da população total, urbana e rural de Igrejinha/RS. Dados: IBGE

Domicílios

O aumento do número de domicílios particulares permanentes em Igrejinha também teve aumento significativo no período 2000-2010, como demonstra a Tabela 1. Observa-se que a dinâmica de aumento dos domicílios é expressiva desde a década de 1970, (Gráfico 2).

Domicílios Particulares Permanentes (DPP) – Comparativo 2000-2010			
DPP	2000	2010	Aumento 2000-2010
DPP total	8.024	10.594	32,02%
DPP urbanos	7.655	10.054	31,33%
DPP rurais	369	540	46,34%

Tabela 1: Domicílios Particulares Permanentes período 2000-2010 – Igrejinha/RS Dados: IBGE

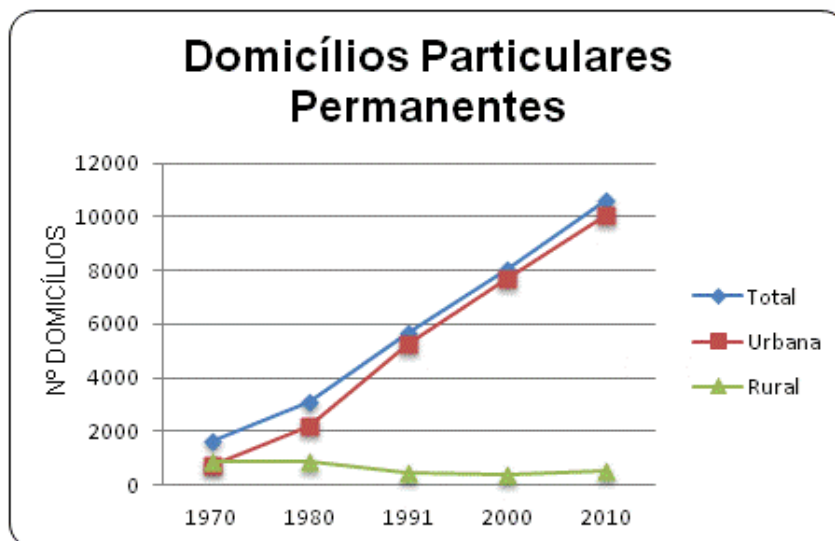


Gráfico 2: Evolução dos Domicílios Particulares Permanentes (DPP) em Igrejinha/RS. Dados: IBGE

Pode-se relacionar o aumento populacional e do número de domicílios particulares permanentes em Igrejinha com o incremento do setor industrial no município (Gráfico 3). O número de indústrias passou de 7, em 1966, para 811 em 2006.

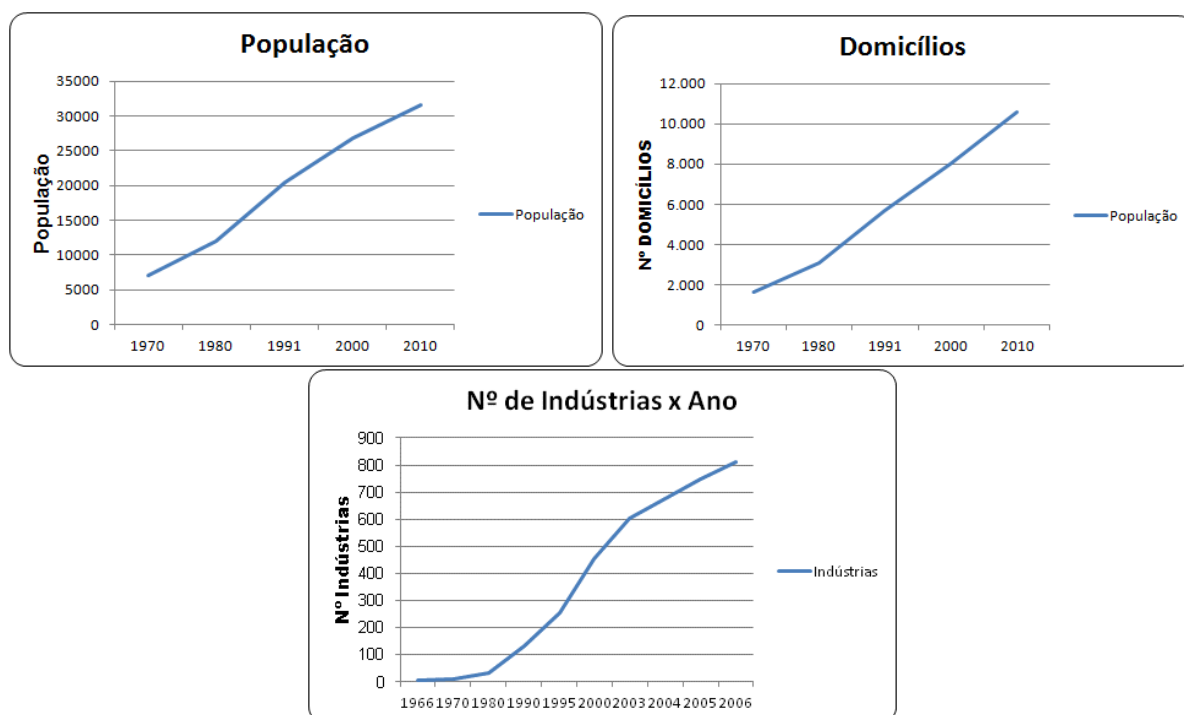


Gráfico 3 – Evolução da população, domicílios e indústrias em Igrejinha/RS. Dados: IBGE

Renda

A renda *per capita* da maior parte da população de Igrejinha está nas faixas de $\frac{1}{2}$ a 1 salário mínimo e de 1 a 2 salários mínimos. A população com menor renda no município – até $\frac{1}{2}$ salário

mínimo *per capita*, equivale a 10,45%, proporcionalmente menor que o índice estadual (18,54%).

A população com maior renda em Igrejinha (15,94%), proporcionalmente, é menor que a população que recebe esta renda a nível estadual (22,83%).

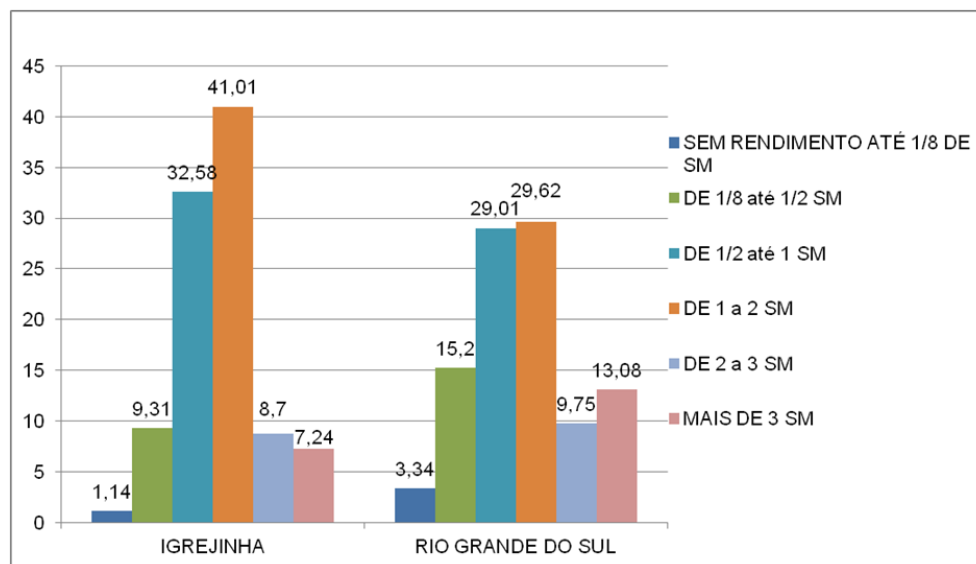


Gráfico 4: Classes de rendimento municipal e estadual (%).

Fonte: Adaptado de IBGE, 2010.

Índice de Desenvolvimento Humano (IDH)

O IDH municipal (2010)⁶ de Igrejinha corresponde a 0,721, sendo considerado município de alto desenvolvimento humano, composto pelas seguintes dimensões: Renda (índice 0,749 – alto desenvolvimento); Longevidade (0,876 – muito alto desenvolvimento) e Educação (0,571 – baixo desenvolvimento).

Idese (Índice de Desenvolvimento Socioeconômico)

Segundo o Idese⁷, Igrejinha se classifica como um município de médio desenvolvimento - índice 0,726. Nos quesitos Educação e Saúde apresenta “Muito Alto” desenvolvimento, com índice 0,838 e 0,894, respectivamente. Quanto à Renda apresenta “Médio” desenvolvimento, com índice 0,741. No entanto, em Saneamento e Domicílios, apresenta índice 0,430, sendo este seu

⁶ O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) é uma medida resumida do progresso a longo prazo em três dimensões básicas do desenvolvimento humano dos municípios: renda, educação e saúde. Em 2010, foram adotados os seguintes parâmetros: Muito Alto (de 0,800 a 1); Alto (de 0,700 a 0,799), Médio (de 0,600 a 0,699), Baixo (de 0,500 a 0,599) e Muito Baixo (de 0,000 a 0,499). Fonte: <http://www.pnud.org.br/IDH/DH.aspx>

⁷ O Idese é um índice sintético elaborado pela Fundação de Economia e Estatística (FEE), inspirado no IDH, que abrange um conjunto amplo de indicadores sociais e econômicos, classificados em quatro blocos temáticos: educação; renda; saneamento e domicílios; e saúde. Tem por objetivo mensurar e acompanhar o nível de desenvolvimento do Estado do Rio Grande do Sul, de seus municípios e dos Conselhos Regionais de Desenvolvimento (Coredes), informando a sociedade e orientando os governos (municipais e estadual) nas suas políticas socioeconômicas. Varia de zero a um e permite a classificação em três níveis de desenvolvimento: baixo (índices até 0,499), médio (entre 0,500 e 0,799) e alto (maiores ou iguais a 0,800). Disponível em <http://www.fee.rs.gov.br/indicadores/indice-de-desenvolvimento-socioeconomico/>

componente com menor desempenho e com classificação “Muito Baixo”. Em relação aos 497 municípios do Rio Grande do Sul ocupa a 163ª posição.

Produto Interno Bruto (PIB)

O PIB⁸ municipal de Igrejinha, em 2010, encontrava-se na 47ª posição no Estado, representando 0,35% de participação, e apresentando variação positiva de 23,7% no período 2009-2010. O PIB *per capita* de Igrejinha era de R\$ 27.704,00 - 60ª posição em relação aos outros municípios do Rio Grande do Sul, e apresentava variação de 31,1%. (FEE, 2012).

Valor Adicionado Bruto (VAB)

De acordo com os dados disponibilizados pela FEE em relação aos setores econômicos, o Valor Adicionado Bruto⁹ em Igrejinha demonstra que, em 2010, a maior representação econômica se concentrava na Indústria (55,48%), seguida pelos Serviços (43,91%). No município, o setor Agropecuário apresentou representação de 0,61%. Em relação ao Estado, a maior participação percentual é representada pelo setor da Indústria com 0,66%, seguido pelos Serviços, com 0,25% e a Agropecuária com participação ínfima de 0,02%.

4. Origem do Município

Igrejinha teve origem¹⁰ em 1846, a partir da chegada de imigrantes alemães às margens do Rio Paranhana – afluente do Rio dos Sinos, quando foi fundada Taquara do Mundo Novo. Nas proximidades, no ano seguinte, foram demarcados os primeiros lotes para vender a colonos e imigrantes em Santa Maria Baixa dando origem ao núcleo Casa de Pedra – armazém e abastecimento para os primeiros colonos e pessoal que media terras, que originou a Fazenda Mundo Novo, futuro município de Igrejinha. Os lotes, com 48 hectares, localizavam-se em área montanhosa, rica em madeira e fauna e iam até a encosta da serra.

Em 1850, eram 400 habitantes e, em 1864, 1.427 habitantes. Ao longo do rio foram abertas duas picadas – estradas coloniais, e surgiram as primeiras construções da vila. A agricultura foi a primeira atividade econômica local, apesar do difícil escoamento da produção, pois não haviam estradas de acesso aos maiores centros. O rio foi o primeiro caminho, porém somente era navegável até São Leopoldo e na época das enchentes. Além do nível baixo no verão, as cachoeiras, a correnteza, a vegetação e as curvas acentuadas eram entraves à navegação.

Em 1885, a localidade já possuía alguns estabelecimentos (moinho, serraria, ferraria). O transporte pelo rio foi abandonado, sendo aberto um caminho seguindo trilha antiga que margeava o rio. Entre 1910 e 1912, foi construída uma represa no rio e, em sua margem, um descascador de

⁸ PIB: Total dos bens e serviços produzidos pelas unidades produtoras residentes sendo, portanto, a soma dos valores adicionados pelos diversos setores acrescida dos impostos, líquidos de subsídios, sobre produtos não incluídos na valoração da produção (IBGE, 2008).

⁹ VAB: Valor que a atividade agrega aos bens e serviços consumidos no seu processo produtivo. É a contribuição ao produto interno bruto pelas diversas atividades econômicas, obtida pela diferença entre o valor da produção e o consumo intermediário absorvido por essas atividades (IBGE, 2008).

¹⁰ Com base no livro “Igrejinha História que o Tempo Registra”, Prefeitura de Igrejinha, Secretaria Municipal de Educação e Cultura (coordenação e redação: Marina Bruzius e Sigrid Izar Fleck). 1991

arroz. No moinho, foi instalada turbina geradora de energia elétrica para cada lado do rio, fornecendo energia elétrica domiciliar para a região até a década de 1930.

Em 1913, o escoamento da produção foi impulsionado pela implantação da rede ferroviária que ligava Taquara a Canela, acompanhando o curso do Rio Paranhana e passando por Igrejinha, onde foi construída uma ponte de madeira para os trilhos e outra para a passagem de veículos. Esta ponte foi levada pela enchente no ano de 1932. Logo após as pontes foram reconstruídas.

O núcleo urbano se constituía na Rua da Independência, antiga Rua da Igreja, concentrando comércio e moradias. Santa Maria do Mundo Novo, então pertencente à sede Taquara do Mundo Novo, passou a se chamar Igrejinha. A localidade se desenvolvia, mas por estar muito próxima à sede e por sua importância, não se tornava Distrito, o que ocorreria somente em 1935. Com o incremento das indústrias (arreios, tamancos, botas e outros artefatos de couro) e elevação da arrecadação, surgem ideais emancipacionistas.

Em 1940, uma indústria começou a fabricar calçados para crianças e, a partir desta década, outras indústrias do ramo calçadistas ali se instalaram. Em 1953, é aberta a Rua General Ernesto Dorneles e são loteadas áreas da face leste do núcleo em terrenos com dimensões tipicamente urbanas. Em seguida, há uma nova etapa de crescimento, na estrada que leva à Serra Grande, o “Canto dos Feller”. O desenvolvimento industrial e econômico é expressivo. Em 1955 já haviam 30 indústrias de calçados e a atração da cidade por mão de obra favorecia a chegada de migrantes vindos de outros municípios.

Em 1964, através da Lei Estadual Nº 4.733, é criado o Município de Igrejinha, cuja população totalizava 6.290 habitantes, destes, 2.000 habitantes urbanos. A estrutura fundiária rural se caracterizava pelo minifúndio com atividades voltadas à agricultura de subsistência, plantio da acácia negra, além da pecuária de subsistência e gado leiteiro nas terras altas.

A ponte de ferro que dava passagem ao trem foi demolida em 1966 devido à extinção daquele trecho ferroviário, predominando o transporte rodoviário motivado pela ligação existente entre os municípios próximos atendendo às demandas da indústria. Neste ano foi concluída a RS-115 que liga Igrejinha aos municípios da região e à RS-239 – acesso à Região Metropolitana de Porto Alegre. Na década de 1970, o setor calçadista apresentava crescimento acelerado com indústrias produzindo insumos para calçados (palmilhas, saltos, etc.).

No decorrer de sua história, o município de Igrejinha sofreu inundações de pequenas e grandes proporções. A enchente de 1982 foi a maior, provocando destruição tanto na área central como nos bairros. A população sempre uniu esforços para a reconstrução da cidade.

Em 1991, eram 179 indústrias calçadistas e 103 de outros ramos (esquadrias de madeira, caixas de papelão, serrarias e beneficiadoras de madeira, sabão, máquinas para indústria de calçados, matadouro de gado).

5. Evolução Urbana

O desenvolvimento urbano de Igrejinha ocorre a partir da ocupação das margens do Rio Paranhana e se estende ao longo de sua planície, posteriormente atingindo, a leste e a oeste, porções de seu território caracterizadas por maiores declividades. A Figura 3 apresenta o território municipal, destacando-se o núcleo urbano inicial e o centro da cidade. Pode-se ver a mancha urbana ao longo da planície do Rio Paranhana – eixo ao longo do qual a cidade se desenvolve, e seu avanço em direção às zonas de encostas.

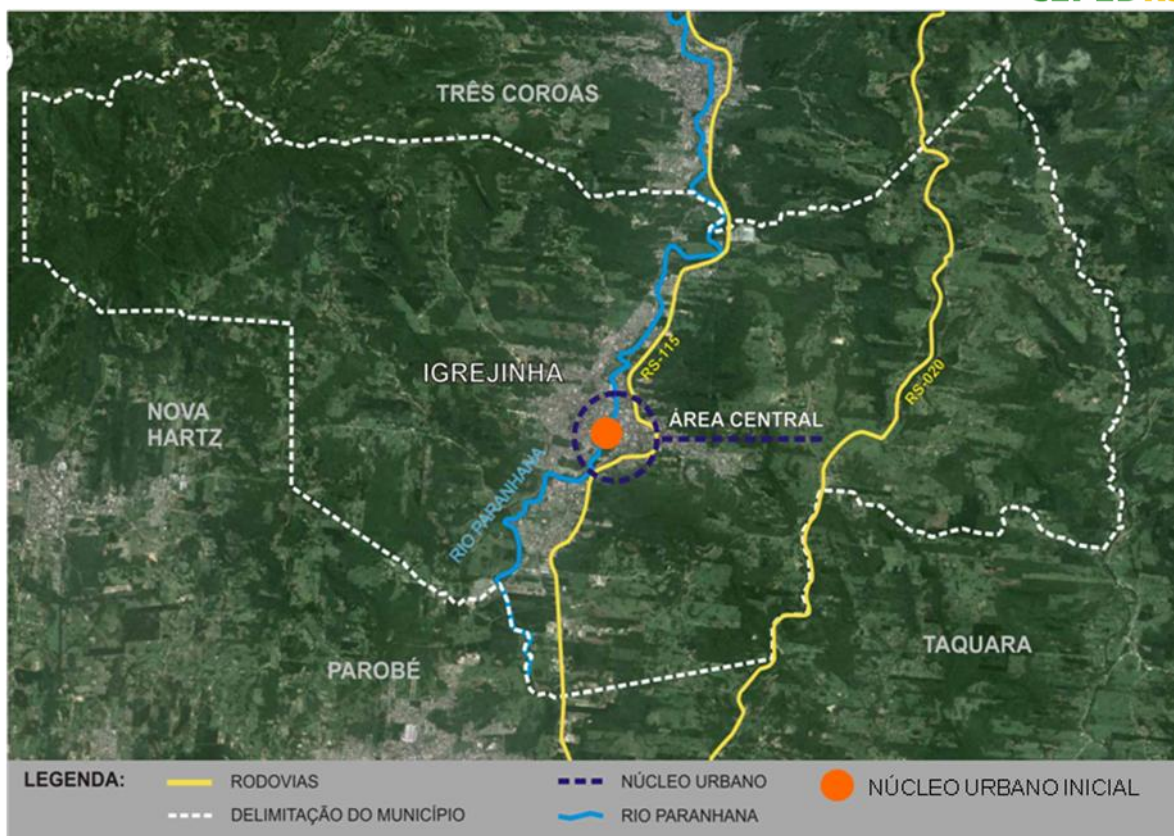


Figura 3: Território municipal, núcleo urbano inicial e mancha urbana de Igrejinha/RS Fonte: Adaptado de Google Earth.

Em 1968, quatro anos após a emancipação do município, Igrejinha teve definido seu primeiro perímetro urbano, abrangendo a área de entorno do núcleo inicial. Logo após, em 1970, a área urbana sofreu significativa ampliação, passando a incorporar uma grande extensão de terras às margens do Rio Paranhana e também em áreas com declividade acentuada.



Figura 4: Área urbana na década de 1970 Igrejinha/RS Fonte: Acervo Ani Wilhelms

O perímetro urbano de 1985 estendeu ainda mais a cidade a leste, em direção à RS-20, e também a Noroeste, ampliando-a em áreas de maiores altitudes e declividades. O perímetro urbano atual, determinado em 2006 pelo Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano, Rural e Ambiental, amplia novamente a área urbana, agora em todas as direções.

O progressivo aumento territorial urbano de Igrejinha mostra-se desproporcional ao crescimento populacional e ao uso e ocupação do solo efetivado nas últimas décadas. Glebas incorporadas ao perímetro urbano de 1970 ainda encontram-se vazias, passados mais de 40 anos. Os perímetros urbanos e sua evolução comparada aos aspectos territoriais – proximidade do rio e encostas, podem ser vistos nas Figuras 5 e 6.

Se observarmos as declividades presentes no território de Igrejinha, percebe-se que a partir do perímetro urbano delimitado em 1970, o espaço urbano já se direciona e avança através da implantação de traçados viários ortogonais, tanto sobre as áreas inundáveis como sobre as áreas de encosta (Figura 7).

Na expansão urbana na região leste se constituíram os Bairros Saibreira e Viaduto, ambos com presença de encostas íngremes e ocorrências de movimentos de massa afetando moradias e causando perda de vidas (Figura 8). Do lado oeste, em terrenos próximos às encostas também há locais afetados por deslizamentos de terra.

1968



1970



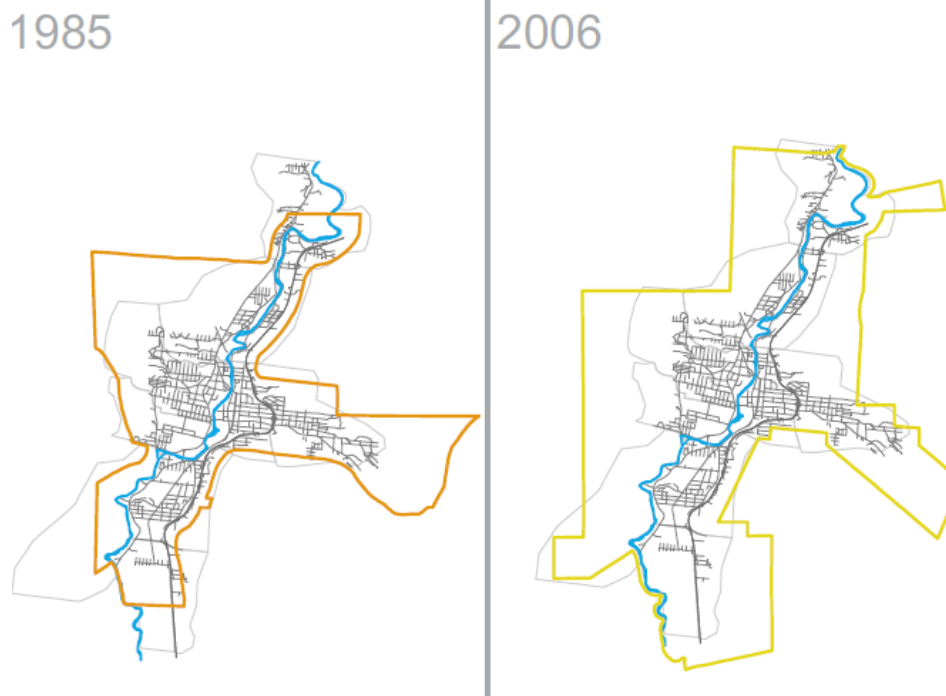


Figura 5: Evolução do perímetro urbano: 1968, 1970, 1985, 2006. Dados: Prefeitura de Igrejinha

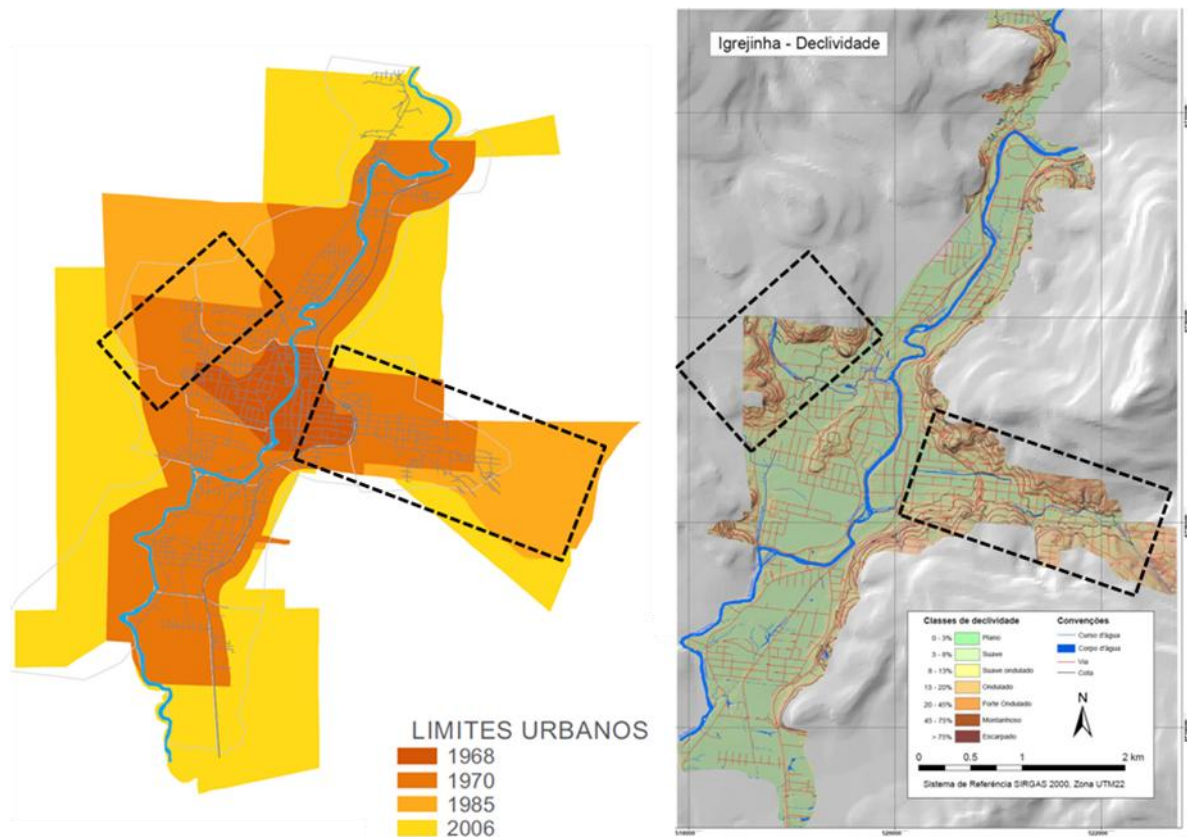


Figura 6: Evolução urbana - 1968 a 2006 e aspectos territoriais. Dados: Prefeitura de Igrejinha e mapa do projeto



Figura 7: Vista da área urbana de Igrejinha . GRID/UFRGS

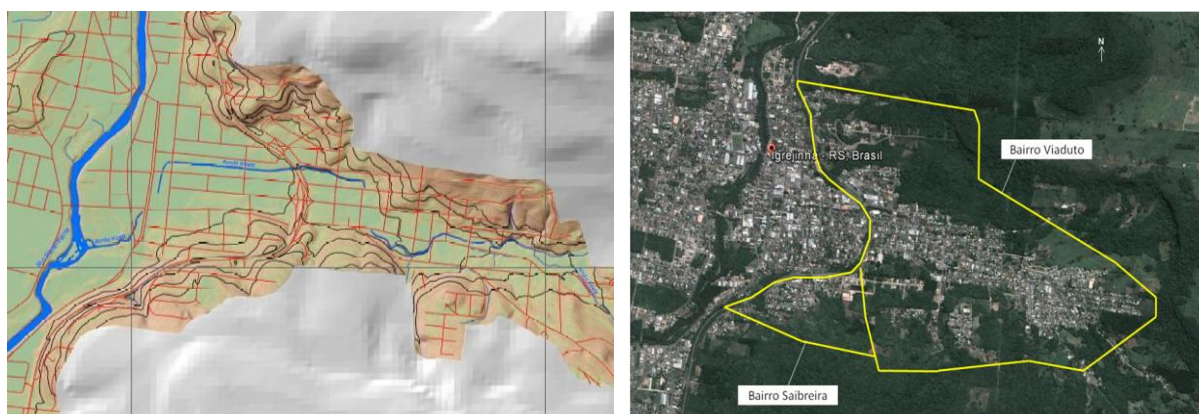


Figura 8: Mapa de declividades e limites aproximados dos Bairros Saibreira e Viaduto. de imagem Google Earth 2012 e mapa do projeto.

Grande parte da área urbana localiza-se em cotas baixas sobre a planície de inundação do Rio Paranhana. A Figura 9 delimita a área atingida pela inundação ocorrida em 1982, a maior das últimas décadas.

Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano, Rural e Ambiental do Município de Igrejinha

A Lei Municipal Nº 3.824, de 27 de outubro de 2006, reestrutura o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano, Rural e Ambiental do Município de Igrejinha (PDDURA):

“O Plano Diretor é o instrumento básico da política de desenvolvimento do Município. Sua principal finalidade é orientar a atuação do Poder Público e da iniciativa privada na construção dos espaços urbano e rural, na oferta de serviços públicos essenciais, visando assegurar melhores condições de vida para a população” (Art. 2º).

O PDDURA tem como diretrizes a preservação ambiental, o estímulo ao crescimento, o desenvolvimento sustentável, a participação comunitária e o Plano Regulador, que é o disciplinamento do uso e ocupação do solo, de acordo com o macrozoneamento de usos estabelecidos; é a regulação do espaço construído através da aplicação dos dispositivos de controle das edificações; é o parcelamento do solo (Art. 3º). O Plano Regulador é o instrumento que define os dispositivos que regulam a paisagem da cidade, edificada ou não (Art. 7º).

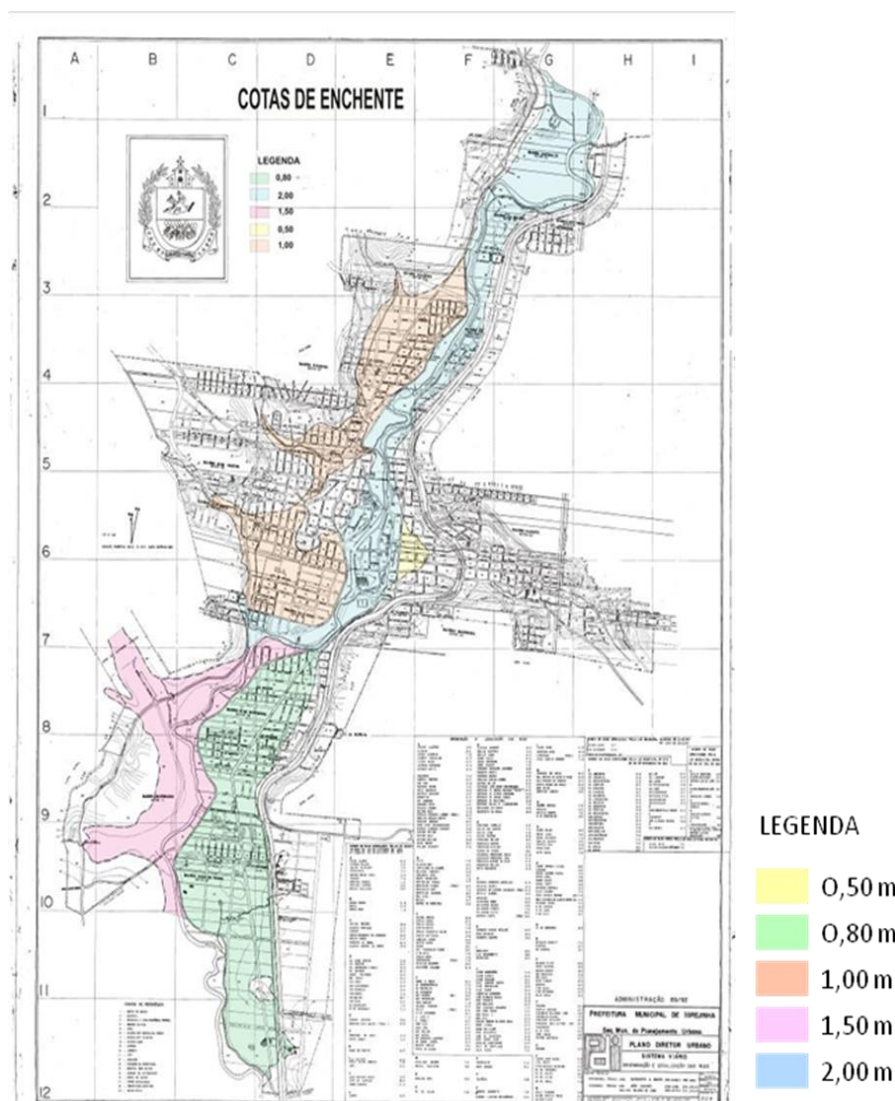


Figura 9: Mapa de Cotas da enchente de 1982 sobre limite urbano de 1970
 Fonte: Prefeitura de Igrejinha

O PDDURA tem como diretrizes a preservação ambiental, o estímulo ao crescimento, o desenvolvimento sustentável, a participação comunitária e o Plano Regulador, que é o disciplinamento do uso e ocupação do solo, de acordo com o macrozoneamento de usos estabelecidos; é a regulação do espaço construído através da aplicação dos dispositivos de controle das edificações; é o parcelamento do solo (Art. 3º). O Plano Regulador é o instrumento que define os dispositivos que regulam a paisagem da cidade, edificada ou não (Art. 7º).

O Regime Urbanístico é definido em função das normas relativas à densificação, atividades, dispositivos de controle das edificações e parcelamento do solo (Art. 8º). As exigências e parâmetros para o parcelamento do solo, bem como as normas e índices urbanísticos estão regulamentados no Plano Regulador.

A área urbana da sede do município compreende as seguintes zonas (Art. 74):

- ZR 1** – Zona Residencial 1
- ZR 2** – Zona Residencial 2
- ZIS** – Zona Residencial de Interesse Social

ZC 1 – Zona Comercial 1

ZC 2 – Zona Comercial 2

ZIC – Zona Industrial Comercial

ZE – Zona Especial (vias públicas com incentivo de uso)

As APP podem estar presentes em todas as zonas. Em cada Zona são estabelecidos usos incentivados e permissíveis (Art. 75); nas Áreas de Preservação Ambiental (APA) fica proibido o parcelamento do solo. (Art. 79). O Zoneamento Urbano considera APP (Área de Preservação Permanente) as margens do Rio Paranhana e de seus afluentes. Também demarca outras duas áreas como Zona de Preservação Ambiental (ZPA).

Cabe ressaltar que a Lei Municipal Nº 3.575, de 30 de agosto de 2004, incluía dispositivo na Lei de Parcelamento do Solo vigente à época (Lei Municipal Nº 1.832/1993) com o seguinte teor: “Proíbe-se a implantação de novos loteamentos na região que forma a bacia hidrográfica do arroio Koetz até que seja resolvido o problema de alagamentos deste curso d’água” (§ Único, Art. 1º). A lei Nº 3.575/2004 foi revogada pelo Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano, Rural e Ambiental, em 2006.

O arroio Koetz se origina a leste da área urbana, passando pelo Bairro Viaduto e pelo Centro de Igrejinha, chegando ao Rio Paranhana. Está canalizado, com canalização aberta no Bairro Viaduto (Figura 11), e fechada na área central.

6. Dinâmica de uso e ocupação do solo urbano

Dois questões importantes estão presentes na dinâmica urbana de Igrejinha: a significativa produção recente de lotes regulares que se distribuem por todo o território; e a quantidade expressiva de novas edificações.

Para compreensão da dinâmica deste processo foram Identificados os parcelamentos do solo regulares implantados ou aprovados a partir do ano 2000. Compreendeu tanto os loteamentos promovidos pela iniciativa privada, como aqueles viabilizados pelo poder público, e destinados à produção de lotes populares.

Constatou-se um elevado número de loteamentos (40), porém dois loteamentos estão relacionados por terem processo de regularização efetivado neste período, e de lotes (em torno de 1.700). Os terrenos se caracterizam por apresentar área em torno de 300m², e por se distribuírem por toda a cidade, conforme localização ilustrativa dos loteamentos (Figura 12).

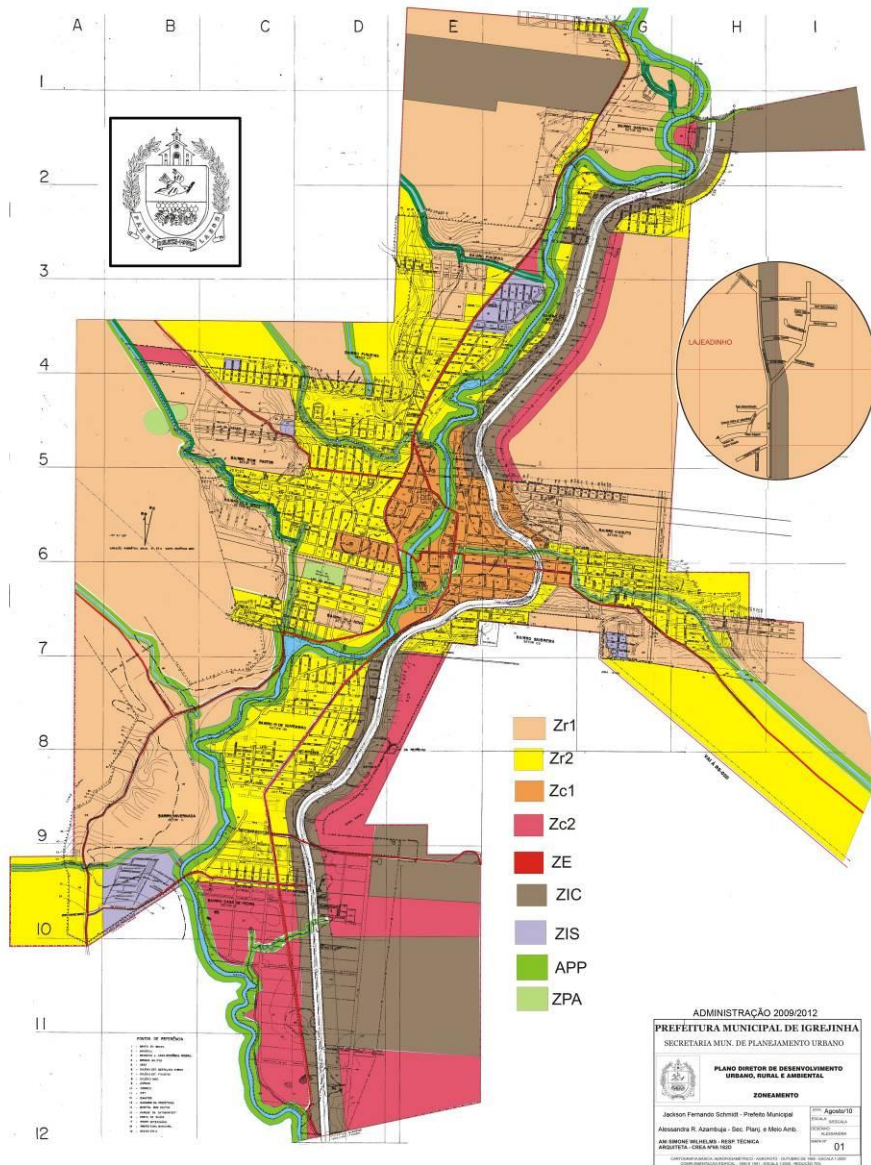


Figura 10: Zoneamento Urbano – PDDURA de Igrejinha/RS. Fonte: Prefeitura de Igrejinha



Figura 11: Arroio Koetz – Bairro Viaduto. Fonte: GRID/UFRGS

Vários loteamentos estão localizados em áreas sujeitas a inundações ou que apresentam declividades acentuadas, o que também ocorria com os parcelamentos implantados em décadas passadas. Não há restrições à implantação dos parcelamentos nas áreas inundáveis ou sujeitas a movimentos de massa, como demonstra o Plano Diretor vigente.

A Tabela 2 apresenta os loteamentos produzidos a partir de 2000, bairro, número de lotes e ano de aprovação na prefeitura. Também aponta outras informações, como destinação à habitação de interesse social, regularização através do provimento More Legal, etc. Computando os lotes efetivamente produzidos no período 2000-2013, teremos o total de aproximadamente 1.700 lotes, número expressivo se pensar que a ocupação de cada lote será, em média, superior a um domicílio, e que no ano 2000 havia 7.655 domicílios particulares permanentes urbanos em Igrejinha.

Além disso, estão sendo viabilizadas pelo município outras 395 unidades habitacionais destinadas à população com renda de até três salários mínimos, e alguns proprietários de glebas demonstrarem intenção de executar novos parcelamentos do solo.

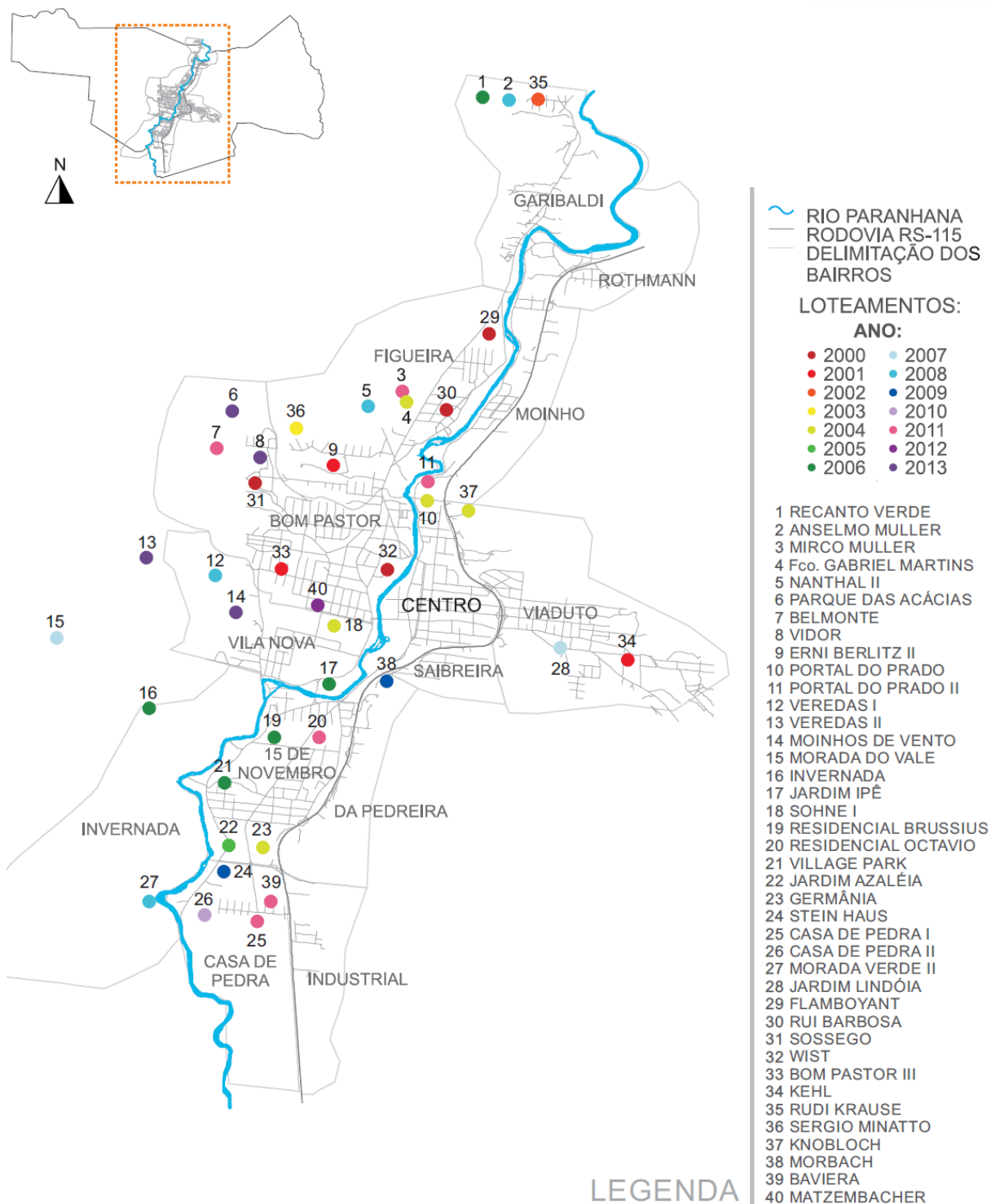


Figura 12: Localização dos loteamentos regulares a partir do ano 2000 .Dados: Prefeitura de Igrejinha

Loteamento regulares a partir de 2000 – Igrejinha/RS				
Loteamento	Rua - Bairro	Nº Lotes	Aprovação	Observações
1- Recanto Verde	Rua Davi Breyer - Garibaldi	78	2006	
2- Anselmo Muller	Rua Anita Garibaldi - Garibaldi	23	2008	
3- Mirco Muller	Rua Ivoti - Figueira	17	2011	
4- Francisco Gabriel Martins	Rua Anita Garibaldi - Figueira	45	2004	
5- Namthal II	Rua dos Renck - Figueira	78	2008	
6- Parque das Acácias	Rua João Jorge Renck - Figueira	?	2011	HIS* – parte nova
7- Belmonte	Bairro Bom Pastor	87	2011	
8- Vidor	Bairro Bom Pastor	43	2013	
9- Erni Berlitz II	Rua Jardelino Robinson - Figueira	68	2001	
10- Portal do Prado	Rua Independência - Moinho	48	2004	
11- Portal do Prado II	Rua Independência - Moinho	32	2011	
12- Veredas I	Rua Evaldo Feller – Vila Nova	54	2008	
13- Veredas II	Bairro Vila Nova	28	2013	
14- Moinhos de Vento	Rua Artur Geis – Vila Nova	?	2013	
15- Morada do Vale	Estrada Solitária	75	2007	Cooperativa Hab.
16- Invernada	Rua Belmiro Wallauer - Solitária	27	2006	
17- Jardim Ipê	Rua 7 de Julho – Vila Nova	30	2006	
18- Sohne I	Rua 7 de Julho – Vila Nova	44	2004	
19- Residencial Brussius	Rua Ildo Meneghetti – 15 de Novembro	37	2006	
20- Residencial Octavio	Rua Ildo Meneghetti – 15 de Novembro	27	2011	
21- Village Park	R. Tristão Monteiro – 15 de Nov.	48	2006	
22- Jardim Azaléia	R. Tristão Monteiro – 15 de Nov.	61	2005	
23- Germânia	R. Ildo Meneghetti – 15 de Nov.	73	2004	
24- Stein Haus	Rua Ildo Meneghetti - Casa de Pedra	34	2009	
25- Casa de Pedra I	RS-115 – Casa de Pedra	63	2011	
26- Casa de Pedra II	Rua Tristão Monteiro – Casa de Pedra	86	2010	
27- Morada verde II	Rua Theobaldo Lanz - Invernada	212**	2008	Regularização HIS
28- Jardim Lindóia	Rua João VI - Viaduto	09	2007	
29- Flamboyant	Rua Anita Garibaldi - Figueira	45	2000	HIS
30- Rui Barbosa	Rua Rui Barbosa - Figueira	61	2000	HIS
31- Sossego	R. Delmar Franzen – Bom Pastor	24	2000	HIS
32 - Wist	Rua Getulio Vargas - Centro	43**	2000	More legal
33- Bom Pastor III	R. Edmundo lauffer – Bom Pastor	77	2001	
34- Kehl	Rua Pedro Kehl - Viaduto	19	2001	
35- Rudi Krause	Rua Anita Garibaldi - Garibaldi	31	2002	
36- Sergio Minatto	Rua dos Eucaliptos – Bom Pastor	09	2003	
37- Knobloch	Rua Corticeira da Serra - Moinho	25	2004	
38- Morbach	R. Irena Wilma Breyer - Saibreira	33	2009	
39- Baviera	Rua Theodoro Julio Ritter – Casa de Pedra	44	2011	Escriturado, não liberado
40- Matzembacher	Rua 7 de Julho – Vila Nova	54	2012	

*Habitação de Interesse Social – Prefeitura Municipal **Lotes não computados como produzidos a partir do ano 2000, pois já existiam anteriormente e apenas sofreram processo de regularização.

Tabela 2: Loteamentos produzidos ou regularizados a partir do ano 2000. Dados: Prefeitura de Igrejinha

Alguns desses loteamentos podem ser visualizados nas imagens abaixo (Figura 13).



Loteamento Recanto Verde



Loteamento Anselmo Muller



Loteamento Mirco Muller



Loteamento Francisco Gabriel Martins



Loteamento Nantal II



Loteamento Belmonte



Loteamento Vidor



Loteamento Rui Barbosa



Loteamento Flamboyant



Loteamento Sossego

Figura 13: Imagens de loteamentos produzidos a partir do ano 2000. Fonte: GRID/UFRGS

A presença de assentamentos precários – ocupações originadas de forma espontânea e desordenada, em área pública ou particular, para moradia de população de baixa renda, e de loteamentos clandestinos também compõem a realidade urbana de Igrejinha. Não raro estão localizados em áreas inadequadas à urbanização, representando risco a seus moradores. As figuras e tabela abaixo apontam a localização e informações sobre estes assentamentos.

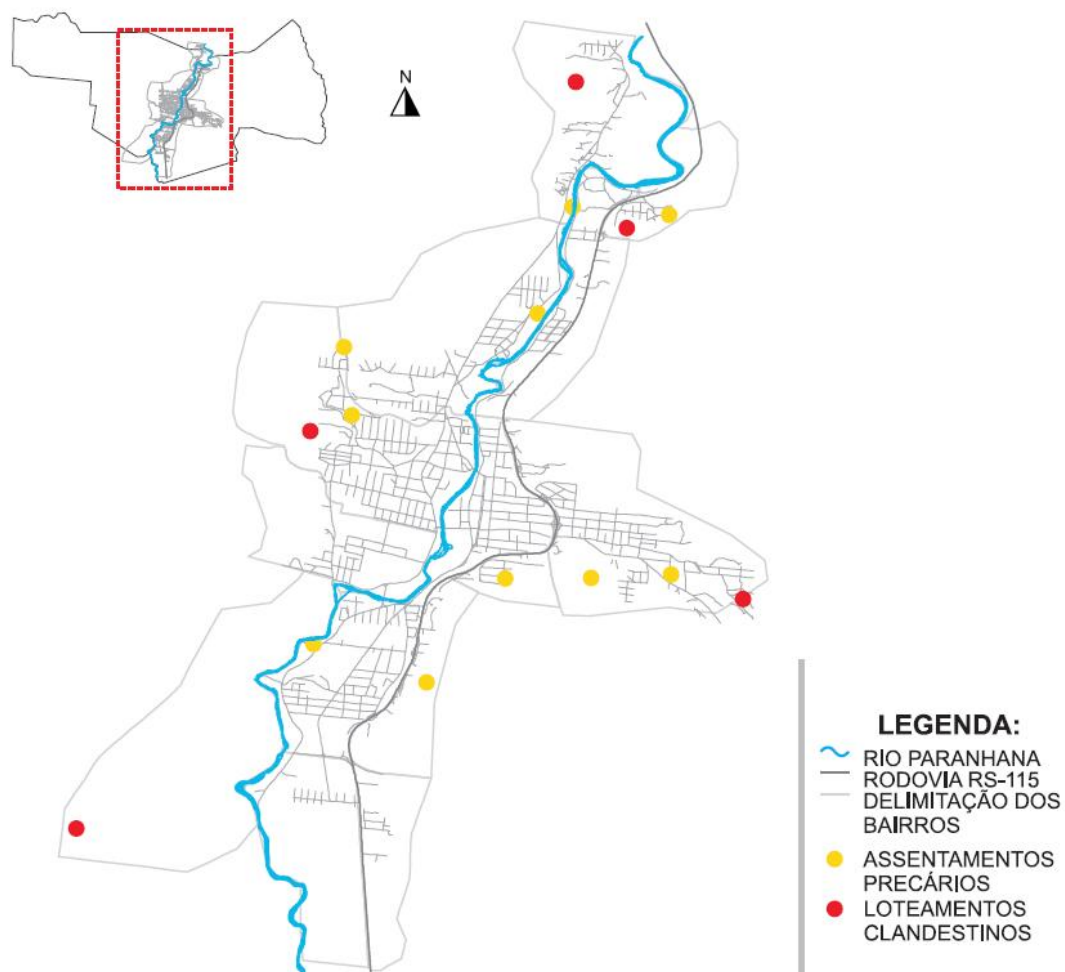


Figura 14: Localização dos assentamentos precários e loteamentos clandestinos em Igrejinha. - Dados: Prefeitura Municipal



Figura 15: Loteamento clandestino de ocupação recente. Fonte: GRID/UFRGS



Figura 16: Assentamentos precários. Fonte: GRID/UFRGS.

Loteamentos clandestinos – Igrejinha - RS	
Localização	Observações
Bairro Lajeadoinho	Todo o bairro. É antigo, foi incorporado à área urbana em 2006.
Final Rua da Saudade – Bairro Bom Pastor	
Rua Alfredo Brussiuís – limite sudoeste da área urbana	
Final das ruas do Pessegueiro e da Bergamoteira – Bairro Rothmann	
Acesso à RS-020 – extremidade leste da área urbana	
Assentamentos precários – Igrejinha/RS	
Localização	Observações
Rua Almiro Menezes de Castro – Bairro 15 de Novembro	Vila Esgueio. Terreno particular.
Rua Rui Barbosa – Bairro Figueira	APP – margem do Rio Paranhana. Ocupação em 2000
Rua Independência – Bairro Moinho	APP – margem do Rio Paranhana. Ocupação em 2000
Final da Rua do Angico – Bairro Figueira	APP – margem de arroio
Rua da Saibreira com Rua Carlos Horning – Bairro Saibreira	Área pública
Próximo às ruas Carlos Koez e Nestor Vilas Boas	Área pública
Bairro Bom Pastor	Área pública junto a loteamento
Rua Davi – Bairro Viaduto	Área pública
Rua das Laranjeiras – bairro Rothmann	Área pública
Rua Osvaldo A. Fetter – Bairro da Pedreira	

Tabela 3: Loteamentos clandestinos e assentamentos precários. Dados: Prefeitura Municipal

No que refere às novas edificações, estudo realizado e apresentado por pesquisadores da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) no XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, identificou 759 novas construções em áreas inundáveis em evento de chuva com tempo de recorrência de 50 anos, entre os anos de 2005 e 2010 em Igrejinha. 88% das edificações têm uso residencial, sendo que 39,1% das novas habitações apresentam alta vulnerabilidade às inundações. As Figuras abaixo representam o estudo realizado no município de Igrejinha.

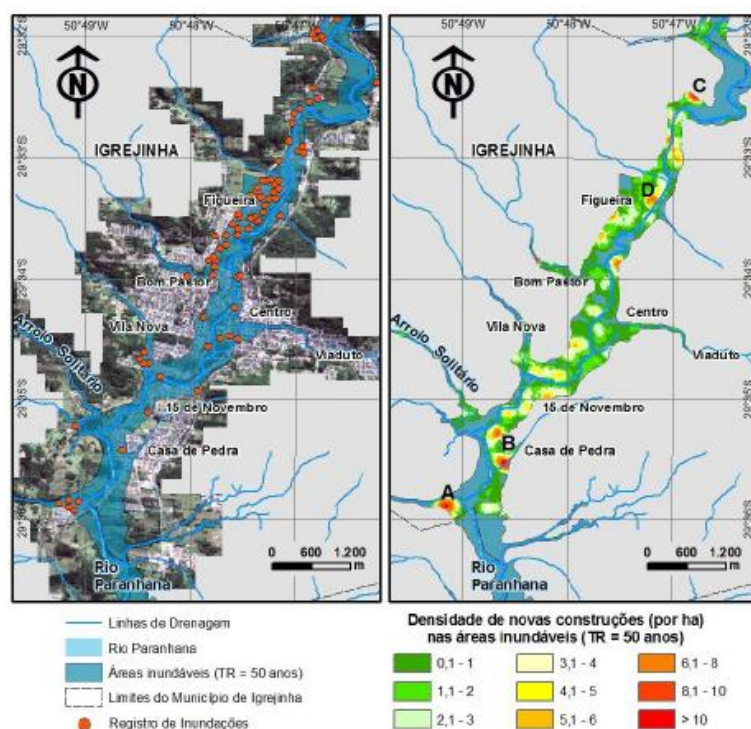


Figura 17: Áreas inundáveis em eventos de chuva com TR de 50 anos, duração de 24 horas. Densidade de novas construções (2005-2010) nas áreas inundáveis de Igrejinha/RS. Fonte: Oliveira et al., 2013.

Ratificando o incremento de novas construções, informações da Secretaria de Planejamento registram a aprovação de em torno de 400 projetos residenciais no período de janeiro a outubro de 2013. As novas construções, predominantemente residenciais e em grande número executadas com financiamento do Programa Minha Casa, Minha Vida, se distribuem por todo o território urbanizado. Terrenos com topografia acidentada sofrem cortes e/ou aterros para receber estas moradias em diferentes pontos da cidade.

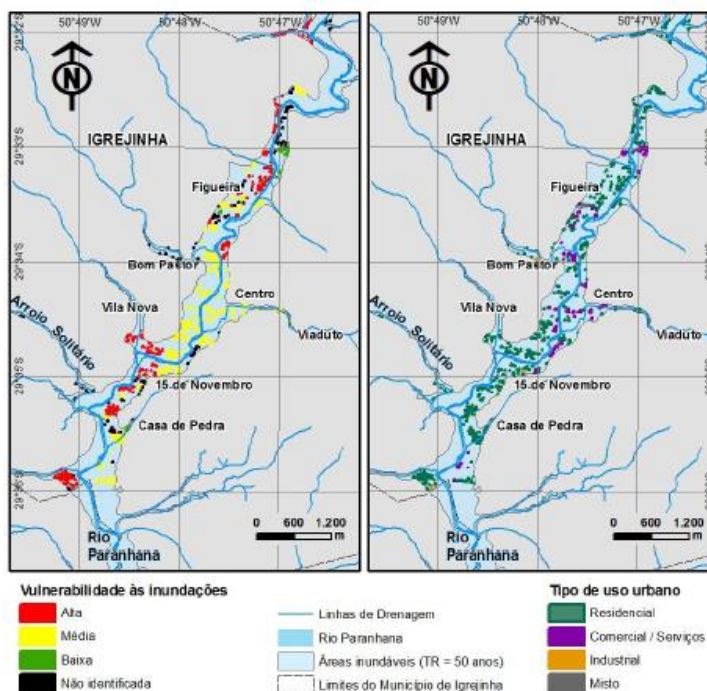


Figura 18: Construções realizadas nas áreas inundáveis (TR = 50 anos), de Igrejinha/RS, entre 2005 e 2010: vulnerabilidade às inundações e o tipo de uso urbano. Fonte: Oliveira et al., 2013.



Figura 19: Novas construções em terrenos com topografia acidentada. Fonte: GRID/UFRGS.

7. Dinâmica de ocupação das encostas

A forma de ocupação das encostas em Igrejinha, tanto nos loteamentos antigos como

recentes, requer algumas considerações. A estrutura fundiária do território municipal foi determinada por ocasião da vinda dos imigrantes alemães para o Rio Grande do Sul, quando foram definidos lotes rurais ortogonais. As maiores dimensões se configuravam no sentido leste oeste o que, no caso de Igrejinha, determinou que glebas de terra estreitas nas encostas urbanas tenham a maior dimensão contrária ao sentido das curvas de nível.

Esta condição gera a adoção de sistema viário ortogonal tendo como conseqüências altas declividades das vias e necessidade de cortes e aterros para a ocupação dos lotes. A seguir apresentam-se algumas destas situações identificadas em Igrejinha. As principais observações são: a) loteamentos em encostas com alta declividade; (b) desníveis nas divisas laterais dos lotes; c) ruas perpendiculares às curvas de nível, com grande inclinação; d) dificuldade ou impossibilidade de trânsito de pedestres nos passeios; e) sinais de ruptura em terrenos novos.



- Desníveis nas divisas laterais dos lotes
- Lotes com testadas inclinadas
- Traçado viário: ruas perpendiculares às curvas de nível



- Contenções na calçada e leito da via



- Impossibilita o uso da calçada



Trecho não pavimentado e com sinais de erosão, deslizamento de terra, queda de árvores e inclinação de árvores e postes, onde os lotes não foram ocupados:



8. Proposição de diretrizes

O município de Igrejinha apresenta porções de seu território localizado em áreas sujeitas a inundações e a movimentos de massa, o que determinou a elaboração de cartas geotécnicas para cada situação.

Cada carta geotécnica representa o resultado dos estudos e levantamento realizados, indicando zonas com alta, média e baixa suscetibilidade frente aos desastres decorrentes das inundações ou de movimentos de massa. As diretrizes apontadas para o Plano Diretor e para projetos de parcelamento do solo são, neste documento, constituídas por restrições, recomendações e condicionantes para a ocupação.

Devido à significativa abrangência das zonas com alta suscetibilidade às inundações e movimentos de massa, considerou-se importante a recomendação de regramento específico para o uso e ocupação de terrenos vagos existentes nestas áreas, resultantes de parcelamentos do solo efetivadas ao longo do tempo, bem como para projetos de reforma e/ou ampliação de edificações.

Estas recomendações poderão incidir no Plano Diretor, Código de Obras ou outras legislações municipais afins.

A pertinência da inclusão deste “passivo” no âmbito deste projeto é justificada pelo grande número de novas construções ocorrendo na cidade tanto nas áreas inundáveis como naquelas sujeitas a movimentos de massa. Segundo estudo realizado por pesquisadores da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Oliveira, 2013), somente na área urbana sujeita a inundações foram construídas 759 novas edificações entre os anos de 2005 e 2010. Destas, 87,9% foram destinadas ao uso residencial.

Nas áreas urbanas com maiores declividade, também constata-se significativo número de novas edificações. Observam-se cortes e aterros em lotes com declividades importantes configurando situações que merecem atenção.

A proposição de recomendações para o uso e ocupação do solo aplicada a novos parcelamentos e à ocupação do lote é uma demanda dos municípios brasileiros que está diretamente relacionada à qualidade dos espaços urbanos - públicos e privados, bem como à segurança da população.

Parâmetros para projetos de loteamentos e para a implantação de edificações no lote em encostas vêm sendo abordada por alguns estudiosos que tem dado uma contribuição importante neste tema. Como referências, podemos citar as publicações de Ricardo de Souza Moretti – Loteamentos: Manual de recomendações para projeto (São Paulo, Publicação IPT.1986); Flavio Farah – Habitação e Encostas (São Paulo, Publicação IPT. 2003) e Juan Luis Mascaró – Loteamentos Urbanos (Porto Alegre, Mais Quatro Editora, 2003).

Há a necessidade de que, a nível municipal, o poder público incorpore parâmetros adequados ao seu território através de normatização específica, e fomenta o debate acerca da necessidade de adequação do seu desenvolvimento urbano, subsidiado pela Carta Geotécnica, e das concepções urbanísticas e arquitetônicas implementadas visando reduzir a vulnerabilidade e exposição aos desastres naturais, bem como o aumento da resiliência.

As diretrizes e/ou recomendações apresentadas neste documento podem ser incorporadas não somente à legislação, mas também às políticas públicas setoriais com interface com as questões apresentadas. Evidencia-se a importância da educação e participação social para que sejam amplamente debatidas, compreendidas e aplicadas. Se referem:

- a novos parcelamentos do solo nas modalidades “**loteamento**” (a), e “**desmembramento**” (b)
- ao passivo de “**lotes não ocupados**” (c), decorrentes de parcelamento do solo já efetivado;
- a “**edificações existentes, reformas e ampliação de edificação**” (d), localizada em áreas de alta e média suscetibilidade.
- “**outras situações**” (e), quando houver necessidade de inserir alguma questão não contemplada nas demais categorias.

As diretrizes e recomendações serão especificadas separadamente para **áreas suscetíveis a inundações** e **áreas suscetíveis a movimentos de massa**. As áreas apontadas nas Cartas Geotécnicas como restritivas ou inaptas ao uso e ocupação do solo se constituirão em indicativos para o planejamento urbano municipal, não sendo objeto de diretrizes e/ou recomendações. Estas recomendações devem ser discutidas no município e incorporadas ao arranjo legal dentro do possível para mitigar as consequências de futuros desastres.

Recomendações de Diretrizes para áreas sujeitas a inundações

A Carta Geotécnica para áreas suscetíveis a inundações para a área urbana de Igrejinha tem a particularidade de que as regiões definidas como de Alta, Média e Baixa suscetibilidade à inundações tem pouca diferença em termos de áreas de abrangência, sendo a maior diferença observada pelo nível (profundidade) da inundação. Neste projeto, serão consideradas como sujeitas a inundação, as

áreas afetadas em Tempos de Recorrência (TR) menores do que 50 anos. Os graus de suscetibilidade foram considerados de acordo com o TR das inundações sobre as áreas atingidas segundo esta indicação:

- Alta Suscetibilidade – TR de até 10 anos
- Média Suscetibilidade – TR de 10,1 a 50 anos
- Baixa Suscetibilidade – TR maior que 50 anos

ÁREAS SUJEITAS A INUNDAÇÕES		
	Situação	Diretrizes para uso e ocupação do solo urbano
Alta Suscetibilidade	a) Novos loteamentos	Vedada a implantação de novos loteamentos
		Permitida atividades de permanência transitória, tais como, áreas de lazer, campo de futebol e afins.
	b) Desmembramentos	Vedada a aprovação de projeto de desmembramento de gleba de terra
		Permitida atividades de permanência transitória, tais como, áreas de lazer, campo de futebol e afins
		Incentivar a “venda de índice construtivo” para terrenos em áreas com aptidão à urbanização, através do instrumento “Transferência do Direito de Construir” (Lei Federal N.10.257/2001)
	c) Lotes não ocupados (passivo)	Vedada a implantação, em novas construções ou existentes, de equipamentos públicos ou privados destinados a escolas, escolas infantis, unidades de saúde, asilos, hotéis ou outros.
		Permitida atividades de permanência transitória, tais como, áreas de lazer, campo de futebol e afins.
		Incentivar a “venda de índice construtivo” para terrenos em áreas com aptidão à urbanização, através do instrumento “Transferência do Direito de Construir” (Lei Federal N.10.257/2001).
		Minimização do impacto da inundação através de obras estruturais. Exemplo: construções sob pilotis,....
		Redução da Taxa de Ocupação e Índice de Aproveitamento permitido para o terreno.
	d) Edificações existentes: reformas e ampliações	Vedada a concessão de novos alvarás de funcionamento para equipamentos públicos ou privados, tais como escolas, escolas infantis, unidades de saúde ou outros, a definir.
		Os equipamentos públicos deverão adotar medidas estruturais e não estruturais com a finalidade de reduzir o impacto das inundações. Transferência para áreas adequadas à urbanização.
		Redução da Taxa de Ocupação e Índice de Aproveitamento permitida para o terreno, com o objetivo de baixar a densidade de edificações e de população na área sujeita a inundações.
		Novas construções em terrenos particulares deverão

		adotar medidas visando a minimização do impacto da inundação através de obras estruturais. Exemplo: construções sob pilotis, construção de segundo pavimento,...
		Promover o reassentamento de famílias moradoras de assentamentos precários localizados em áreas com alta suscetibilidade.
	e) Outras situações	É vedada a ocupação de gleba de terra ou lote destinado a uso coletivo caracterizado pela permanência humana.

ÁREAS SUJEITAS A INUNDAÇÕES		
	Situação	Diretrizes para uso e ocupação do solo urbano
Média Suscetibilidade	a) Novos loteamentos	Só será permitida a implantação de loteamentos se adotadas medidas de proteção a cheias com seu impacto calculado e projeto elaborado, além de acompanhamento da execução por equipe técnica qualificada, ficando a proposta sujeita a aprovação quando do licenciamento ambiental.
		Intervenções que possam alterar o volume de cheias devem ser respaldadas por estudo sobre a modelagem com a nova situação e verificação quanto ao agravamento da inundação a jusante.
		Definição dos usos permitidos.
		Definição de área mínima para o lote.
		Obrigatoriedade de construção do segundo pavimento.
		Redução da Taxa de Ocupação e Índice de Aproveitamento permitido para o terreno, com o objetivo de baixar a densidade de edificações e de população na área sujeita a inundações.
		Incentivos a baixa densidade na ocupação do lote.
		Incentivar a “venda de índice construtivo” para terrenos em áreas com aptidão à urbanização, através do instrumento “Transferência do Direito de Construir” (Lei Federal N.10.257/2001)
	b) Desmembramentos	Só será permitido o desmembramento se adotadas medidas de proteção a cheias com seu impacto calculado e projeto elaborado, além de acompanhamento da execução por equipe técnica qualificada, ficando a proposta sujeita a aprovação do órgão competente.
		Definição de área mínima para o lote.
		Definição dos usos permitidos
		Redução da Taxa de Ocupação e Índice de Aproveitamento permitido para o terreno, com o objetivo de baixar a densidade de edificações e de população na

		<p>área sujeita a inundações.</p> <p>Incentivos a baixa densidade na ocupação do lote.</p> <p>Incentivar a “venda de índice construtivo” para terrenos em áreas com aptidão à urbanização, através do instrumento “Transferência do Direito de Construir” (Lei Federal N.10.257/2001)</p>
	c) Lotes não ocupados (passivo)	<p>Aprovação de projeto e habite-se mediante adequação a medidas preventivas destinadas à minimização dos efeitos das cheias.</p> <p>Exemplo: primeiro pavimento elevado, exigência de segundo pavimento para o uso residencial, pilotis,...</p>
		<p>Redução da Taxa de Ocupação e Índice de Aproveitamento permitido para o terreno, com o objetivo de baixar a densidade de edificações e de população na área sujeita a inundações.</p>
	d) Edificações existentes: reformas e ampliações	<p>Poderá ser vedada a concessão de novos alvarás de funcionamento para equipamentos públicos ou privados, tais como escolas, escolas infantis, unidades de saúde e outros que não se adequem a medidas preventivas quanto às cheias em determinado tempo, a ser definido.</p>
		<p>Equipamentos públicos deverão adotar medidas estruturais e não estruturais com a finalidade de reduzir o impacto da inundação.</p> <p>Poderá ser recomendada sua transferência para áreas adequadas à urbanização.</p>
		<p>Redução da Taxa de Ocupação e Índice de Aproveitamento permitido para o terreno, com o objetivo de baixar a densidade de edificações e de população na área sujeita a inundações.</p>
		<p>Aprovação de projeto de reforma e/ou ampliação e habite-se mediante adequação a medidas preventivas destinadas à minimização dos efeitos das cheias.</p> <p>Exemplo: primeiro pavimento elevado, exigência de segundo pavimento para o uso residencial, pilotis,...</p>
		<p>Promover o reassentamento de famílias moradoras de assentamentos precários.</p>
	e) Outras situações	<p>Ocupação de gleba de terra ou lote destinado a uso coletivo caracterizado pela permanência humana, somente mediante a adoção de medidas preventivas quanto às cheias.</p>

ÁREAS SUJEITAS A INUNDAÇÕES		
Situação	Diretrizes para uso e ocupação do solo urbano	
Baixa Suscetibilidade	a) Novos loteamentos	Permitido, área com aptidão à urbanização.
		Incentivo, através de índices construtivos – aumento do índice de aproveitamento e altura máxima permitida, com objetivo de adensamento de construções e populacional nas áreas com aptidão à urbanização.
		Poderá ser adotada a “compra de índices construtivos” das zonas de alta e média suscetibilidade, através do instrumento “Transferência do Direito de Construir” (Lei Federal N.10.257/2001)
		Definição dos usos permitidos, acho que são todos
	b) Desmembramentos	Permitido, área com aptidão à urbanização.
		Sem restrição de área mínima para o lote, respeitada a legislação municipal.
		Incentivo, através de índices construtivos – aumento do índice de aproveitamento e altura máxima permitida, com objetivo de adensamento de construções e populacional nas áreas com aptidão à urbanização.
		Poderá ser adotada a “compra de índices construtivos” das zonas de alta e média suscetibilidade, através do instrumento “Transferência do Direito de Construir” (Lei Federal N.10.257/2001)
	c) Lotes não ocupados (passivo)	Definição dos usos permitidos.
		Permitido, sem restrição de área mínima do lote, respeitada a legislação municipal.
		Incentivo, através de índices construtivos – aumento do índice de aproveitamento e altura máxima permitida, com objetivo de adensamento de construções e populacional nas áreas com aptidão à urbanização.
	d) Edificações existentes: reformas e ampliações	Poderá ser adotada a “compra de índices construtivos” das zonas de alta e média suscetibilidade, através do instrumento “Transferência do Direito de Construir” (Lei Federal N.10.257/2001)
		Incentivo ao adensamento através de aumento de índices construtivos e altura máxima permitida.
	e) Outras situações	

Recomendações de Diretrizes para áreas sujeitas a movimentos de massa

No caso dos movimentos de massa não é possível ainda definir TR similares aos de inundações. Trabalha-se então com o conceito de Perigo (com frequência estimada com base na avaliação de especialistas) ou na Suscetibilidade (em função de condicionantes para cada tipo de movimento). Foram definidas no projeto, 3 tipos de regiões, e acordo com a Suscetibilidade: Baixa a Inexistente (Zonas Verdes), Média (Amarelas) ou Alta (Vermelhas).

As regiões marcadas como de Suscetibilidade Alta são consideradas inapropriadas à ocupação, sendo restritas à qualquer ocupação permanente (somente parques ou áreas de preservação). As áreas reconhecidas como de Suscetibilidade Baixa ou inexistente, não terão qualquer restrição especial à ocupação, no que concerne aos movimentos de massa. Finalmente, as áreas Amarelas (Suscetibilidade Média), terão restrições à forma de ocupação, conforme as Diretrizes Gerais e recomendações abaixo.

- Suscetibilidade Alta – Inadequada
- Suscetibilidade Média – Com restrições
- Suscetibilidade Muito Baixa ou Inexistente – Sem restrições

ÁREAS SUJEITAS A MOVIMENTOS DE MASSA		
	Situação	Diretrizes para uso e ocupação do solo urbano
Alta Suscetibilidade	a) Novos loteamentos	Vedada a implantação de novos loteamentos.
		Vedada atividade de permanência humana prolongada. ?
	b) Desmembramentos	Vedada a aprovação de projeto de desmembramento de gleba de terra.
		Vedada atividade de permanência humana prolongada. ?
	c) Lotes não ocupados (passivo)	Normatizar a execução de cortes e aterros (responsabilidade específica).
		Permitir isenção de recuo frontal em lotes com declividade alta
		Normatizar o acesso ao lote em terrenos com testada em desnível (passeios públicos)
	d) Edificações existentes: reformas e ampliações	Incentivar a “venda de índice construtivo” para terrenos em áreas com aptidão à urbanização, através do instrumento “Transferência do Direito de Construir” (Lei Federal N.10.257/2001).
		Não permitir a implantação de equipamentos públicos e privados, bem como renovação de alvará de

	funcionamento daqueles existentes.
	Redução da Taxa de Ocupação e Índice de Aproveitamento permitido para o terreno.
	Divulgar repertório de boas e más práticas de implantação da edificação no lote (ação educativa que inclui todos os loteamentos).

ÁREAS SUJEITAS A MOVIMENTOS DE MASSA		
	Diretrizes para uso e ocupação do solo urbano	
Média Suscetibilidade	Situação	
	a) Novos loteamentos	Sujeito a restrições.
		Projeto adequado à condição do terreno (topografia, solo, declividades) quanto a: <ul style="list-style-type: none"> - traçado viário (determinante para definir o tipo de lote e possibilidades de implantação da edificação); - definir parâmetros, além daqueles que já constam da Lei 6.766/1979; - normatizar o acesso ao lote em terrenos com testada em desnível (passeios públicos); - definição de inclinação máxima no interior do lote (aclives ou declives); - divisas, evitando a necessidade de cortes e aterros; - isenção de recuo frontal para as construções; - regulamentação quanto à taxa de ocupação reduzida. Sugestão: 30%;
		- regulamentar quanto à área mínima do lote.
		Exigência de responsável técnico para projeto e acompanhamento de obras de cortes e aterros no terreno.
		Normatizar a definição de áreas verdes e institucionais, ficando a cargo do Poder Público Municipal a aprovação da área destinada a este fim. Parte poderá ser em APP, e parte em terreno adequado à necessidade do município quanto à implantação de equipamentos para atender a população (exemplo: para construir um posto de saúde ou escola infantil precisa um terreno adequado em que seja possível viabilizar um local seguro; para uma área de recreação/praça o terreno pode ser mais acidentado,...).
		Em empreendimentos destinados à habitação de interesse social o beneficiário deverá receber a unidade habitacional construída, bem como obras complementares no terreno, se necessário.
	b) Desmembramentos	Sujeito a restrições.
		Definição de inclinação máxima no interior do lote (aclives ou declives);
		Definição de área mínima para o lote.

		Isenção de recuo frontal para as construções.	
		Regulamentação quanto à taxa de ocupação reduzida (sugestão: 30%).	
		Exigência de responsável técnico para projeto e acompanhamento de obras de cortes e aterros no terreno.	
		Em empreendimentos destinados à habitação de interesse social o beneficiário deverá receber a unidade habitacional construída, bem como obras complementares no terreno, se necessário.	
	c) Lotes não ocupados (passivo) d) Edificações existentes: reformas e ampliações		Normatizar a execução de cortes e aterros (responsabilidade específica).
			Permitir isenção de recuo frontal em lotes com declividade alta
			Normatizar o acesso ao lote em terrenos com testada em desnível (passeios públicos).
			- divulgar repertório de boas e más práticas de implantação da edificação no lote (ação educativa que inclui todos os loteamentos).
			Redução da Taxa de Ocupação e Índice de Aproveitamento permitido para o terreno, com o objetivo de baixar a densidade de edificações.

ÁREAS SUJEITAS A MOVIMENTOS DE MASSA		
	Situação	Diretrizes para uso e ocupação do solo urbano
Suscetibilidade Muito Baixa ou Inexistente		Permitido, área com aptidão à urbanização.
		Sem restrição de área mínima do lote, respeitada a legislação municipal.
	a) Novos loteamentos	Incentivo, através de índices construtivos – aumento do índice de aproveitamento e altura máxima permitida, com objetivo de adensamento de construções e populacional nas áreas com aptidão à urbanização.
		b) Desmembramentos
		Poderá ser adotada a “compra de índices construtivos” das zonas de alta e média suscetibilidade, através do instrumento “Transferência do Direito de Construir” (Lei Federal N.10.257;2001)
		Uso residencial, comercial, serviços e equipamentos públicos e privados.
c) Lotes não ocupados (passivo)	Incentivo, através de índices construtivos – aumento do índice de aproveitamento e altura máxima permitida, com objetivo de adensamento de construções e populacional nas áreas com aptidão à urbanização.	
	d) Edificações existentes: reformas e ampliações	
	Poderá ser adotada a “compra de índices construtivos” das zonas de alta e média suscetibilidade, através do instrumento “Transferência do Direito de Construir” (Lei Federal N.10.257;2001)	
	Uso residencial, comercial, serviços e equipamentos públicos e privados.	

Bibliografia

Oliveira, G.G., Quevedo, R.P. Guasselli, L.A., Menezes, P.H.N. (2013) “Expansão urbana nas áreas inundáveis do rio Paranhana no município de Igrejinha/RS”. Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. Foz do Iguaçu. PR, Brasil. 2013.

MINISTÉRIO DAS CIDADES

Secretaria Nacional de Acessibilidade e Programas Urbanos

Departamento de Assuntos Fundiários Urbanos e Prevenção de Riscos

Elaboração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais no Município de Igrejinha, RS

Anexo 6

- 1. Gestão do trabalho: Processo participativo integrando gestores públicos municipais, Defesa Civil e pesquisadores da UFRGS**
- 2. Seminário final de apresentação de resultados à comunidade**

Jocelei Teresa Bresolin, Luiz A. Bressani, Eloísa Giazzon, Cristiane Pauletti

GRID – Grupo de Gestão de Riscos de Desastres

Departamento de Engenharia Civil

UFRGS

Gestão do trabalho: Processo participativo integrando gestores públicos municipais, Defesa Civil e pesquisadores da UFRGS

A gestão do trabalho desenvolvida neste projeto teve como princípios a interdisciplinaridade e o processo participativo, enfatizando a criação de parcerias entre equipe de pesquisadores de vários grupos de pesquisa da UFRGS e gestores públicos, incluindo a Defesa Civil Municipal.

As estratégias de sensibilização, mobilização dos sujeitos e de criação de espaços democráticos para o compartilhamento de informações e construção de conhecimento foram fundamentais para que os produtos do projeto não fossem conhecidos só ao final do processo pelos gestores públicos e pelos próprios pesquisadores das diferentes áreas, possibilitando uma maior apropriação do trabalho coletivo e ampliando as possibilidades de compreender e de interferir no mesmo. Além dos espaços (reuniões, oficinas, seminários) a circulação da informação se deu através das formas virtuais, mantendo equipe e demais envolvidos informados do que estava sendo desenvolvido.

Considera-se que o êxito da sensibilização e também da mobilização está no modo de conduzir o trabalho, o qual deve ser pautado pela compreensão da importância em:

- a) informar sobre o contexto político e técnico dos projetos;
- b) evidenciar a necessidade e vontade de planejar e desenvolver ações em parceria, valorizando os saberes das instituições e grupos comunitários;
- c) promover um espaço de reflexão coletiva acerca dos principais temas referentes ao projeto.

Durante este processo, houve um cuidado para que este modo de conduzir o trabalho estivesse presente nos discursos, bem como nas posturas e atitudes para poder dar consistência e credibilidade ao trabalho.

A seguir, apresentam-se quadros-resumo demonstrando as principais atividades interativas e participativas (Quadros I e II):

Quadro I – Atividades de: sensibilização, divulgação do projeto, construção de parcerias/diagnósticos

Atividade	Objetivo	Envolvidos	Data
1. Abordagem inicial (na Prefeitura)	- Informar sobre o Projeto - Sensibilizar para adesão/ parceria no projeto	Prefeito eleito, futuros secretários UFRGS: Coordenador do projeto e equipe	13. 12.2012
2. Reunião técnica (na Prefeitura)	- Apresentar o Projeto; levantamento de informações: legislação urbanística/ambiental, evolução urbana, mapeamentos, defesa civil, instâncias de participação da sociedade etc.	Defesa Civil e Gestores municipais das áreas de planejamento urbano, meio ambiente, habitação, obras e infraestrutura UFRGS: Coordenador do projeto e equipe	21.02.2013
3. Oficinas I e II: Mapeamento interativo das questões urbano-ambientais (na Prefeitura)	- Registrar o conhecimento adquirido sobre o território municipal	Gestores municipais e Defesa Civil UFRGS: Coordenador do projeto e equipe	21.03.2013 e abril de 2013
4. Reunião ampliada (na Câmara de Vereadores)	- Informar sobre o projeto da Carta Geotécnica e sua relação com o desenvolvimento urbano; - apresentar estudos preliminares e metodologia	Conselheiros de D.Civil, Nudec, prefeito, secretários e Vereadores UFRGS: Coordenador do projeto e equipe	24.07.2013
5. Visita técnica no território de Igrejinha: percepção da Def. Civil	- Realizar leitura dos problemas locais relacionados a risco/desastres.	Coord. da Defesa Civil UFRGS: Coordenador do projeto e equipe	24.07.2013

Diversos integrantes das equipes participaram nas atividades propostas com os gestores públicos e Defesa Civil, trocando informações, experiências e elaborando propostas conjuntamente.

Os objetivos do projeto e as suas possibilidades de aplicação na gestão urbana do município foram sendo refletidos no decorrer do processo, trazendo questionamentos e informações importantes para ir compondo o quadro complexo da realidade vivenciada no município de Igrejinha, permitindo aos pesquisadores e gestores uma visão ampla e uma gradual empatia em relação ao papel de cada um destes sujeitos nas suas respectivas instituições.

Grupo de Gestão de Riscos de Desastres

Deste modo, os gestores públicos e da Defesa civil local participaram ativamente na composição do diagnóstico e na elaboração de diretrizes para ocupação urbana, além da elaboração de indicações de medidas a serem adotadas no território urbano consolidado e sujeito a inundações ou movimentos de massa, subsidiando possíveis mudanças no Plano Diretor.

Quadro II - Atividades de compartilhamento dos estudos/produtos e elaboração de diretrizes e indicativos para planejamento urbano.

Atividade	Objetivo	Envolvidos	Data
1. Reunião: Cartas Geotécnicas e “Plano Diretor” (na UFRGS)	- Apresentar estudos - Elaborar diretrizes para o Plano Diretor	Gestores municipais, Defesa Civil UFRGS: Coordenador do projeto e equipe	22.10.2013
7. Reunião: “Cartas Geotécnicas e Plano Diretor” (na UFRGS)	- Apresentar resultados, e revisar indicativos de diretrizes Plano do Diretor; - Planejar o Seminário público – Devolutiva do Projeto	Gestores municipais e Def. Civil UFRGS: Coordenador do projeto e equipe	12.03-2014
8. Seminário público (na Câmara de Vereadores de Igrejinha)	- Promover reflexão e debate sobre o tema do desenvolvimento do território/ocupação urbana a partir da divulgação dos resultados do projeto	Sociedade local e regional, DC estadual e interessados em geral	26.03.2014

Do ponto de vista do trabalho específico das equipes da Universidade, foi possível através das *reuniões gerais, reuniões específicas por laboratórios e também reuniões da comissão de gestão*, agregar e integrar grupos que nunca tinham trabalhado juntos. Nestes espaços puderam pensar, em vários momentos, a totalidade do projeto, os problemas e os desafios metodológicos. Este foi um esforço importante, especialmente do ponto de vista da formação de profissionais, pois também estavam presentes nas equipes, alunos de graduação e pós-graduação que tiveram oportunidade de vivenciar este tipo de experiência.

Nestas atividades também foi possível perceber as competências, o perfil profissional e arranjos institucionais necessários para desenvolver este tipo de projeto envolvendo a participação da gestão pública municipal e de representantes da sociedade civil.

A construção coletiva do trabalho traz múltiplos aprendizados e desafios, entre eles, está em pensar as formas de promover um desenvolvimento integrado, sustentável e seguro dos territórios com participação e co-responsabilidade, envolvendo a gestão pública e a sociedade.

Além dos resultados objetivos (mapas, diretrizes, conhecimento técnico em escorregamentos e inundações), este projeto nos ensinou que esta é uma tarefa complexa e necessária para se projetar um futuro de lugares mais seguros para morar e viver.

Seguem fotos de diversas atividades realizadas no período.



FIGURA 2: Reuniões/Oficinas com discussão dos resultados dos estudos e elaboração de diretrizes para ocupação urbana.



FIGURA 1: Trabalho de Campo - Visita multidisciplinar

Seminário final de apresentação de resultados à comunidade **RELATÓRIO DO SEMINÁRIO**

"Cartas Geotécnicas de Aptidão à Urbanização frente aos desastres naturais no Município de Igrejinha"

Dia: 26.03.2014 (4ª feira) das 14h30 às 18h

Local: Auditório da Câmara de Vereadores de Igrejinha

O Seminário foi realizado conforme programação abaixo, contando com a presença de cerca de 60 pessoas, sendo que 50 assinaram a lista de presença.

Programação:

- 1) *Abertura com autoridades presentes (Min das Cidades, Defesa Civil Estadual, Poder Público Municipal, UFRGS)*
- 2) *Palestra Celso Carvalho, Eng Civil, doutor em Eng^a de Solos - Diretor de Assuntos Fundiários e Prevenção de Riscos - Secretaria Nacional de Acessibilidade e Programas Urbanos (SNAPU/MCIDADES)*
- 3) *Apresentação das etapas e dos principais resultados do projeto das Cartas Geotécnicas, pela equipe da UFRGS:
Prof. Luiz A. Bressani, Arq Eloisa Giazzon, Prof. Laurindo Guasselli*

Intervalo – coquetel

- 4) *Apresentação dos Produtos, Indicações/diretrizes de ocupação urbana.
Entrega de relatório para Município de Igrejinha
Prof. Luiz A. Bressani*
- 5) *Espaço para perguntas e discussões
Mediador do debate: Celso Carvalho*

Tendo em vista os resultados apresentados e as discussões durante o Seminário, ao final foi definido como encaminhamento a realização de outro evento com convite e aos legisladores dos 8 municípios da região do Vale do Paranhana para conhecerem os resultados deste projeto e poderem pensar de forma integrada as alternativas de solução e mitigação aos problemas que envolvem o território em âmbito regional.

Este evento será organizado pela Câmara de Vereadores de Igrejinha com apoio da Coordenação Regional da Defesa Civil do Vale do Paranhana, com a participação convidada da equipe técnica da UFRGS participante do projeto.

A seguir, algumas fotos dos principais momentos do Seminário, lista de presenças.





MINISTÉRIO DAS CIDADES

Secretaria Nacional de Acessibilidade e Programas Urbanos

Departamento de Assuntos Fundiários Urbanos e Prevenção de Riscos

Elaboração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais no Município de Igrejinha, RS

Anexo 7

Arquivos digitais para uso em Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e mapas para impressão

Heinrich Hasenack e Eliseu José Weber

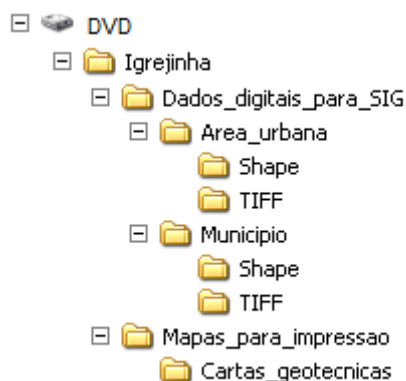
Conteúdo do DVD

Este texto descreve o material cartográfico que está gravado em mídia eletrônica (DVD) e que acompanha este relatório final. O referido DVD contém um conjunto de arquivos digitais georreferenciados para uso em SIG, os quais foram produzidos durante os estudos para a elaboração das cartas geotécnicas de aptidão à urbanização de Igrejinha.

Todos os dados geoespaciais estão referenciados ao *datum* SIRGAS2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas, realização 2000), de acordo com os parâmetros oficiais do Sistema Geodésico Brasileiro, em coordenadas planas na projeção UTM (Universal Transversa de Mercator), fuso 22. Os dados vetoriais encontram-se armazenados no formato *shape file* (©ESRI), enquanto os dados *raster* (matriciais) encontram-se no formato TIFF. Ambos os formatos são compatíveis com a maioria dos programas de SIG no mercado.

O DVD também reúne as cartas geotécnicas resultantes das análises efetuadas, produzidas em três escalas e preparadas na forma de mapas para impressão, armazenadas no formato pdf (*portable document file*).

O material está organizado no DVD em uma estrutura de pastas hierarquicamente organizadas de forma a facilitar a busca e localização dos arquivos conforme a abrangência e os formatos de armazenamento acima mencionados. A figura abaixo ilustra a organização das pastas, e a descrição dos arquivos contidos em cada uma é detalhada a seguir.



Dados digitais para SIG

Pasta “Area_urbana”

Esta pasta contém um conjunto de arquivos com cobertura restrita ao entorno da área urbanizada de Igrejinha, em escalas mais detalhadas que não contemplam o restante do município. As fontes da informação foram a planta aerofotogramétrica cadastral de Igrejinha de 1989, na escala 1:2.000, e mapas temáticos urbanos em outras escalas, elaborados pela Prefeitura Municipal de Igrejinha.

A maioria do material original encontrava-se impresso em papel e teve que passar por vários processos até estar adequadamente estruturada. A primeira etapa foi a digitalização por meio de *scanner*, seguida de uma etapa de georreferenciamento com a coleta de pontos em campo com receptores GPS. As informações de interesse foram então extraídas manualmente por meio de uma vetorização manual, adotando-se tolerâncias e outras especificações recomendadas para cada escala. Por último, para cada camada obtida efetuou-se uma edição da topologia e estruturou-se uma tabela de atributos para armazenar as características descritivas mais relevantes para as feições da camada.

A seguir é relacionada a nomenclatura utilizada e uma breve descrição dos arquivos contidos nessa pasta.

Arquivos da pasta “Shape”

- bairros.*: arquivo *shape file* de polígonos contendo a delimitação dos bairros da área urbana de Igrejinha;
- curvas_2k.*: arquivo *shape file* de linhas contendo as curvas de nível com equidistância vertical de 1 metro, extraídas da planta aerofotogramétrica cadastral de Igrejinha de 1989;
- hidrografia_linhas_2k.*: arquivo *shape file* de linhas contendo os cursos d’água extraídos da planta aerofotogramétrica cadastral de Igrejinha de 1989;
- hidrografia_polígonos_2k.*: arquivo *shape file* de polígonos contendo os corpos d’água extraídos da planta aerofotogramétrica cadastral de Igrejinha de 1989;
- nascentes_2k.*: arquivo *shape file* de pontos contendo as nascentes extraídas da planta aerofotogramétrica cadastral de Igrejinha de 1989;
- perímetro_2k.*: arquivo *shape file* de polígonos contendo o perímetro de mapeamento contemplado pela planta aerofotogramétrica cadastral de Igrejinha de 1989;
- vias_2k.*: arquivo *shape file* de linhas contendo a rede viária extraídas da planta aerofotogramétrica cadastral de Igrejinha de 1989.

Arquivos da pasta “TIFF”

- mnt_2k.*: arquivo TIFF contendo o modelo numérico do terreno com resolução espacial de 1 metro, interpolado a partir das curvas de nível da planta aerofotogramétrica cadastral de Igrejinha de 1989;
- quickbird_13042009_rgb321_utm22siras.*: arquivo TIFF correspondente a uma imagem do satélite quickbird de 13/04/2009, composição colorida falsa-cor das bandas 3 (R), 2 (G) e 1 (B), fornecida pela Prefeitura Municipal de Igrejinha e georreferenciada com base em pontos coletados em campo com GPS;
- aptidao_urbanizacao_2k.*: arquivo TIFF contendo o resultado da análise de suscetibilidade a movimentos de massa e inundação na área urbana de Igrejinha. As classes de aptidão à urbanização correspondentes aos valores contidos nos pixels são: 1 = baixa a inexistente aptidão à urbanização; 2 = média aptidão (Iib); 3 = média aptidão (Iic); 4 = alta aptidão à urbanização.

Pasta “Município”

Esta pasta contém um conjunto de arquivos com cobertura parcial ou total do município de Igrejinha, em escalas menos detalhadas que os dados restritos à área urbana anteriormente descritos. As fontes da informação foram a base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul, na escala 1:50.000, um mapeamento geológico executado especialmente para o município de Igrejinha, na escala 1:25.000, e imagens estereoscópicas do satélite ALOS. Tanto as fontes quanto os resultados obtidos das mesmas são produtos originais elaborados pela UFRGS.

A seguir é relacionada a nomenclatura utilizada e uma breve descrição dos arquivos contidos nessa pasta.

Arquivos da pasta “Shape”

- igrejinha_curvas_de_nivel_50k.*: arquivo *shape file* de linhas contendo as curvas de nível com equidistância vertical de 20 metros, extraídas da base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul na escala 1:50.000;
- igrejinha_hidrografia_linhas_50k.*: arquivo *shape file* de linhas contendo os cursos d’água da base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul na escala 1:50.000;

- igreja_hidrografia_poligonos_50k.*: arquivo *shape file* de polígonos contendo os corpos d'água da base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul na escala 1:50.000;
- igreja_inundacao_TR_5_anos.*: arquivo *shape file* de polígonos contendo o perímetro da área de inundação considerando uma precipitação pluviométrica de projeto com período de retorno de 5 anos;
- igreja_inundacao_TR_10_anos.*: arquivo *shape file* de polígonos contendo o perímetro da área de inundação considerando uma precipitação pluviométrica de projeto com período de retorno de 10 anos;
- igreja_inundacao_TR_20_anos.*: arquivo *shape file* de polígonos contendo o perímetro da área de inundação considerando uma precipitação pluviométrica de projeto com período de retorno de 20 anos;
- igreja_inundacao_TR_50_anos.*: arquivo *shape file* de polígonos contendo o perímetro da área de inundação considerando uma precipitação pluviométrica de projeto com período de retorno de 50 anos;
- igreja_inundacao_TR_100_anos.*: arquivo *shape file* de polígonos contendo o perímetro da área de inundação considerando uma precipitação pluviométrica de projeto com período de retorno de 100 anos;
- igreja_lineamentos_25k.*: arquivo *shape file* de linhas contendo os lineamentos estruturais do mapeamento geológico na escala 1:25.000;
- igreja_litologia_25k.*: arquivo *shape file* de polígonos contendo a delimitação das diferentes litologias do mapeamento geológico na escala 1:25.000;
- igreja_municipio.*: arquivo *shape file* de polígonos contendo os limites do município de Igrejinha;
- igreja_nascentes_50k.*: arquivo *shape file* de linhas contendo as nascentes inferidas a partir da base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul na escala 1:50.000;
- igreja_sistema_viario_50k.*: arquivo *shape file* de linhas contendo o sistema viário da base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul na escala 1:50.000.

Arquivos da pasta "TIFF"

- mnt_50k.*: arquivo TIFF contendo o modelo numérico do terreno com resolução espacial de 30 metros, interpolado a partir das curvas de nível da base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul na escala 1:50.000;
- aptidao_urbanizacao_25k.*: arquivo TIFF contendo o resultado da análise de suscetibilidade a movimentos de massa e inundação na porção central do município de Igrejinha, compatível com a escala 1:25.000. As classes de aptidão à urbanização correspondentes aos valores contidos nos *pixels* são: 1 = baixa a inexistente aptidão à urbanização; 2 = média aptidão (IIa); 3 = média aptidão (IIb); 4 = média aptidão (IIc); 5 = alta aptidão;
- aptidao_urbanizacao_50k.*: arquivo TIFF contendo o resultado da análise de suscetibilidade a movimentos de massa e inundação em todo o município de Igrejinha, compatível com a escala 1:50.000. As classes de aptidão à urbanização correspondentes aos valores contidos nos *pixels* são: 1 = baixa a inexistente aptidão à urbanização; 2 = média aptidão (IIa); 3 = média aptidão (IIb); 4 = média aptidão (IIc); 5 = alta aptidão.

Mapas para impressão

Arquivos da pasta “Cartas_geotecnicas”

- Carta_geotecnica_escorregamentos_Igrejinha_2k.pdf: arquivo *pdf* contendo o layout para impressão na escala 1:2.000 da carta geotécnica de aptidão à urbanização em relação a escorregamentos, elaborada com base na planta aerofotogramétrica cadastral de Igrejinha de 1989;
- Carta_geotecnica_escorregamentos_Igrejinha_2k_sombreado.pdf: arquivo *pdf* contendo o layout para impressão na escala 1:2.000 da carta geotécnica de aptidão à urbanização em relação a escorregamentos, elaborada com base na planta aerofotogramétrica cadastral de Igrejinha de 1989, com sombreado do relevo;
- Carta_geotecnica_inundacoes_Igrejinha_2k.pdf: arquivo *pdf* contendo o layout para impressão na escala 1:2.000 da carta geotécnica de aptidão à urbanização em relação a inundações, elaborada com base na planta aerofotogramétrica cadastral de Igrejinha de 1989;
- Carta_geotecnica_inundacoes_Igrejinha_2k_sombreado.pdf: arquivo *pdf* contendo o layout para impressão na escala 1:2.000 da carta geotécnica de aptidão à urbanização em relação a inundações, elaborada com base na planta aerofotogramétrica cadastral de Igrejinha de 1989, com sombreado do relevo;
- Carta_geotecnica_escorregamentos_Igrejinha_25k.pdf: arquivo *pdf* contendo o layout para impressão na escala 1:25.000 da carta geotécnica de aptidão à urbanização em relação a escorregamentos;
- Carta_geotecnica_escorregamentos_Igrejinha_25k_sombreado.pdf: arquivo *pdf* contendo o layout para impressão na escala 1:25.000 da carta geotécnica de aptidão à urbanização em relação a escorregamentos, com sombreado do relevo;
- Carta_geotecnica_inundacoes_Igrejinha_25k.pdf: arquivo *pdf* contendo o layout para impressão na escala 1:25.000 da carta geotécnica de aptidão à urbanização em relação a inundações;
- Carta_geotecnica_inundacoes_Igrejinha_25k_sombreado.pdf: arquivo *pdf* contendo o layout para impressão na escala 1:25.000 da carta geotécnica de aptidão à urbanização em relação a inundações, com sombreado do relevo;
- Carta_geotecnica_escorregamentos_Igrejinha_50k_sombreado.pdf: arquivo *pdf* contendo o layout para impressão na escala 1:50.000 da carta geotécnica de aptidão à urbanização em relação a escorregamentos, com sombreado do relevo;
- Carta_geotecnica_escorregamentos_e_inundacoes_Igrejinha_50k_sombreado.pdf: arquivo *pdf* contendo o layout para impressão na escala 1:50.000 da carta geotécnica de aptidão à urbanização em relação a escorregamentos e inundações, com sombreado do relevo.