

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

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**ANÁLISE GEOLÓGICO-GEOMORFOLÓGICA DA BACIA HIDROGRÁFICA
DO RIO PARANHANA/RS PARA O RECONHECIMENTO DE AMBIENTES
VULNERÁVEIS**

ANDREA CRISTINA CONCEIÇÃO LEMOS

ORIENTADORA: Profa. Dra. DEJANIRA LUDERITZ SALDANHA

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. EDINEI KOESTER

PORTO ALEGRE, JANEIRO DE 2014.

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

**ANÁLISE GEOLÓGICO-GEOMORFOLÓGICA DA BACIA HIDROGRÁFICA
DO RIO PARANHANA/RS PARA O RECONHECIMENTO DE AMBIENTES
VULNERÁVEIS**

ANDREA CRISTINA CONCEIÇÃO LEMOS

**Orientadora: Profa. Dra. Dejanira Luderitz Saldanha
Co-orientador: Prof. Dr. Edinei Koester**

Banca Examinadora:

**Prof. Dr. Mauricio Meurer
Prof. Dr. Laurindo Antônio Guasselli
Prof. Dr. Carlos Augusto Sommer**

**Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação
em Geografia como requisito
para Obtenção do título de
Mestre em Geografia.**

PORTO ALEGRE, JANEIRO DE 2014.

Agradecimentos

- Agradeço primeiramente às instituições que possibilitaram o desenvolvimento desta dissertação com: UFRGS, POSGEA-UFRGS, CAPES, CNPQ.

- A professora Dejanira Luderitz Saldanha pela orientação desta dissertação e pela amizade.

- Ao professor Edinei Koester pela co-orientação e ao professor Laurindo Antônio Guasselli pelas sugestões no desenvolver do presente trabalho.

- Ao professor Evandro Lima, pelo auxílio nas descrições de amostras.

- Aos colegas de laboratório Henrique Cassol e Manuela Sacchis.

- A Eléia Righi, Amanda Bahi Souza e Aurélio Amaro pelo apoio técnico e pela grande amizade no decorrer desta dissertação.

- As amigas de mestrado: Carina Petsch, Gabriela Rocket e Aline Kunst.

- Aos meus pais Edison e Gilce, à minha vó Thereza. Aos queridos Valdir Junior e Fabiana Carvalho pela acolhida em Porto Alegre. E a toda minha família pelo amor incondicional e apoio em todos os momentos.

“[...] Pareço o vento sem saber pra onde vou,
Mas chego sempre onde preciso me chegar,
Talvez por força de algum Deus
Peregrino como eu
Ou pelo tino, sumo e volto a me encontrar...]”
(Sumo de mim – Pirisca Grecco)

Resumo

A presente dissertação tem como objetivo apresentar um estudo sobre a vulnerabilidade ambiental com base em informações geológicas e geomorfológicas. A pesquisa desenvolveu-se na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul / Brasil, na Bacia Hidrográfica do Rio Paranhana (BHRP), abrangendo os municípios de Taquara, Igrejinha, Três Coroas, Gramado, Canela e São Francisco de Paula. Esta região é caracterizada por um relevo, escarpado e em patamares devido à sucessão de derrames da Formação Serra Geral. Ao sul presenciam-se morros médios areníticos da Formação Botucatu. Trabalhos anteriores registraram movimentos de massa nos municípios de Três Coroas e Igrejinha, principalmente em linhas de escarpa. Frente a isto se lançou a hipótese de que zonas de contato faciológico e litológico possuem influências na vulnerabilidade ambiental da região. De modo a investigar esta hipótese, estudaram-se as formas de relevo, as quais estão diretamente relacionadas ao substrato geológico. Também foram descritos oitenta e quatro pontos distribuídos nesta bacia de modo a buscar informações sobre as características lito-estruturais das rochas da região. O resultado das descrições/classificações petrográficas e o processamento das variáveis geomorfométricas (*SRTM/TOPODATA*) foram inseridos no software *ArcMap* para uma análise multicritério no *Raster Calculator*. O mapa final de vulnerabilidade ambiental da BHRP comprova a hipótese inicial, demonstrando que as áreas correspondentes a Fácies Gramado e o limite entre a Formação Botucatu e Formação Serra Geral são os mais vulneráveis. Isto porque em cada nível de derrame magmático, a estrutura configura-se com uma zona amígdalar, uma zona de disjunção colunar, um bloco rochoso, maciço com disjunção horizontal e zona amígdalar. Em cada linha de contato apresentam-se essas zonas amígdalares que permitem a percolação de fluidos desestabilizando o substrato rochoso. Recomenda-se para estudos futuros mapear estas linhas de contato, de maneira a detalhar o estudo da gênese dos desastres naturais da região de escarpa do Rio Grande do Sul.

Abstract

This master thesis aims to present a study on the environmental vulnerability based on geological and geomorphological information. This research was developed in the northeastern state of Rio Grande do Sul / Brazil , in the River Basin Paranhana (BHRP) , covering the municipalities of Taquara , Igrejinha , Três Coroas, Gramado , Canela and São Francisco de Paula. This region is characterized by a relief, steep and levels due to the succession of volcanic eruptions named the Serra Geral Formation. South witness is average sandstone hills of the Botucatu Formation. Previous work reported mass movements in the municipalities of Três Coroas, and Igrejinha, especially in lines of escarpment . Face that launched, the hypothesis is that zones of facies and lithologic contact have influences on the environmental vulnerability of the region. In order to investigate this hypothesis, we studied the forms of relief, which are directly related to geological substrata. Were described eighty four points distributed in the basin in order to seek information on litho-structural characteristics of the rocks of the region. The result of the descriptions/ratings petrographic and processing of geomorphometric (SRTM / TOPODATA) were inserted into ArcMap software for a multi-criteria analysis in the Raster Calculator . The final statement of environmental vulnerability of BHRP confirms the initial hypothesis demonstrating that the areas corresponding to facies boundary between the magmatic rocks and the Arenito Botucatu and Serra Geral Formation are the most vulnerable. This is because at each level of magmatic stroke, the structure is configured with a zone amygdala , an area of columnar jointing, a rocky block with massive horizontal disjunction and amygdala area. In the contact, these amigdalares areas that allow percolation of fluids causing the instabilization the bedrock. It is recommended for future studies to map these lines of contact, detail of the study of the genesis of natural disasters in the region escarpment of Rio Grande do Sul.

Lista de Figuras

Figura 1 - Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Paranhana. A) Localização do estado do Rio Grande do Sul no Brasil. B) Bacias Hidrográficas do estado do Rio Grande do Sul com destaque para a Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos. C) Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos com rede hidrográfica, destacando a localização da Sub-bacia Hidrográfica do Rio Paranhana. D) Área de estudo: Sub-bacia Hidrográfica do rio Paranhana, com destaque para limites municipais e rede hidrográfica.	20
Figura 2 - Evolução do solo ao longo do tempo. (LEPSCH, 2002).	22
Figura 3 - Gráfico de temperatura da estação A879 de Canela, nos meses de Janeiro a Dezembro de 2013. Fonte: INMET (2013).	26
Figura 4 - Pluviosidade dos meses de Janeiro a Dezembro da estação A879 de Canela. Fonte: INMET (2013).	27
Figura 5 - Representação do Estrato Geográfico demonstrando a interação entre o substrato rochoso, tipos de solos, relevo e a ações antrópicas. Fonte: Adaptado de Medeiros (1999).....	28
Figura 6 - Representação das seis sequências taxonômicas do relevo proposta por Jurandyr Ross em 1992. Fonte: Florenzano (2008).	31
Figura 7 - Área da Bacia do Paraná e distribuição das Supersequências (CPRM, 2007).	33
Figura 8 - Áreas selecionadas para teste de modelos de interpolação. As imagens originais correspondem à imagem SRTM e as G3 são as imagens processadas pelo projeto Topodata. Fonte: Valeriano (2009).	39
Figura 9 - Mapa de localização dos afloramentos visitados em campos na Bacia Hidrográfica do Rio Paranhana.	42
Figura 10 - Perfil Geológico Esquemático: a estratigrafia de um derrame. (NUMMER, 2003).....	52
Figura 11 - Paleoduna, afloramento da Fm. Botucatu, em corte de estrada, no município de Taquara-RS.	53
Figura 12 a) Afloramento da Fm. Serra Geral. Apresenta-se muito fraturado e situa-se em zona de contato com a Fm. Botucatu no município de Igrejinha - RS.	54
Figura 13 - Afloramento da Fm. Botucatu. Apresenta estratificação cruzada de grande porte bem marcada, zona de contato litológico no município de Igrejinha - RS. B) Fotomicrografia do arenito Botucatu, mostrando níveis de variação granulométrica.....	55
Figura 14 - Afloramento em talude de corte nos fundos de residência no município de Igrejinha - RS. Apresenta-se muito intemperizado com amígdalas preenchidas por argilo-minerais, situa-se em zona de contato entre a Fm. Botucatu e Fm. Serra Geral.	55
Figura 15 - Afloramento em pedreira inativa no município de Igrejinha - RS. Apresenta-se muito intemperizado, clara zona amigdalar, rochas com amígdalas preenchidas por zeolitas. Zona de contato entre Fm. Serra Geral e Fm. Botucatu.	56
Figura 16 - Afloramento em estrada vicinal no município de Três Coroas-RS. Rocha maciça, composicionalmente caracterizada como basalto da Fm. Serra Geral.	56

- Figura 17 - Afloramento em zona de contato entre a Fm. Botucatu e Fm. Serra Geral. Na base da figura aflora o arenito de coloração rosada e no topo da figura esta o basalto, da Fm. Serra Geral, com amígdalas esparsas e muito intemperizado..... 57
- Figura 18 - Afloramento em corte de estrada na cota aproximada de 220 m. Afloramento apresenta veios intemperizados de diabásio de coloração rosada intrudindo o basalto, também já intemperizado no afloramento..... 58
- Figura 19 - a) Amostra PP 20, retirada de afloramento em corte de estrada no município de Gramado-RS na cota aproximada de 819 m. B) Fotomicrografia da amostra PP 20 mostrando fenocristal de piroxênio e matriz de textura fina composta por plagioclásios..... 58
- Figura 20 - a) Afloramento em corte de estrada na cota aproximada de 611 m. B) Afloramento apresenta estrutura de fluxo, zona de contato entre dois derrames da Fm. Serra Geral. 59
- Figura 21 - Amostra macro PP 28, mostrando textura afanítica com amígdala preenchida por quartzo..... 59
- Figura 22 - Fotomicrografia da amostra PP 28 mostrando matriz fina com amígdala preenchida por quartzo..... 60
- Figura 23 - Guarita. Afloramento avistado de estrada vicinal..... 60
- Figura 24 - A) Afloramento em corte de estrada no município de Três Coroas-RS na cota aproximada de 292 m. Afloramento apresenta rocha básica (basalto) maciço, em pedra para empréstimo. B) Fotomicrografia da amostra PP 40 mostrando textura ofítica. 61
- Figura 25 - A) Amostra PP 42, zona de contato na cota aproximada de 209 m. Amostra apresenta amígdalas preenchidas por argilo-minerais. B) Fotomicrografia mostrando amígdala preenchida por argilo-minerais e matriz composta por micrólitos de plagioclásio..... 62
- Figura 26 - Afloramento em estrada vicinal na cota aproximada de 86 m no município de Três Coroas-RS. Afloramento de arenito da Fm. Botucatu apresenta estratificação cruzada de grande porte..... 62
- Figura 27 - Afloramento em pedra desativada na cota aproximada de 413 m no município de Gramado-RS. Afloramento de rocha ácida, já muito intemperizada apresentando esfoliação esferoidal. 63
- Figura 28 - Afloramento em corte de estrada no município de Igrejinha-RS. Afloramento de basalto de zona de contato apresentando amígdalas e esfoliação esferoidal. 63
- Figura 29 - Afloramento em estrada vicinal na cota aproximada de 217 m no município de Igrejinha-RS. Afloramento de basalto da Fm. Serra Geral. 64
- Figura 30 - Afloramento em estrada vicinal à oeste do Morro da Cruz na cota aproximada de 274 m no município de Igrejinha - RS. Afloramento de basalto da Fm. Serra Geral..... 65
- Figura 31 - Afloramento em estrada vicinal no Morro da Cruz na cota aproximada de 637 m no município de Igrejinha - RS. Afloramento de basalto da Fm. Serra Geral. 65
- Figura 32 - Afloramento em estrada vicinal na cota aproximada de 625 m. Afloramento de rocha ácida da Fm. Serra Geral..... 66
- Figura 33 - Afloramento em estrada vicinal no Morro da Cruz na cota aproximada de 742 m. Afloramento de riolito apresentando folheação de fluxo. 66

Figura 34 - Afloramento em estrada vicinal em cota aproximada de 467 m. Afloramento de basalto da Fm. Serra Geral apresentando disjunção horizontal com espaçamento aproximado de 20 em 20 cm.....	67
Figura 35 - Pedreira municipal de Gramado-RS, em cota aproximada de 715 m (figura 30). Afloramento de riolitos e de rochas vulcânicas que apresentam folheação.	67
Figura 36 - Afloramento em estrada vicinal em cota aproximada de 739 m. Afloramento de riolito apresenta disjunção vertical.	68
Figura 37 - Afloramento em estrada vicinal em cota aproximada de 359 m no município de Três Coroas-RS. A) Afloramento de basalto da Fm. Serra Geral, rocha apresenta a infiltração de raízes das fraturas. B) Cicatriz de movimento de blocos e de massa.	69
Figura 38 - Afloramento em estrada vicinal em cota aproximada de 489 m. Afloramento de rocha básica afanítica, maciça, caracteriza-se basalto da Fm. Serra Geral.	69
Figura 39 - Afloramento na ERS-235 em cota aproximada de 876 m no município de Canela-RS. Rocha ácida (riolito Carijó) apresentando textura “sal e pimenta”.	70
Figura 40 - Afloramento na RS 235 em cota aproximada de 882 m no município de Canela-RS. Rocha ácida (riolito).....	71
Figura 41 - Afloramento na ERS-235 em cota aproximada de 840 m no município de Canela-RS. A) Pedreira inativa de rocha ácida (riolito) apresentando disjunção horizontal. B) Detalhe das disjunções horizontais.	71
Figura 42 - Mapa de zonas geologicamente vulneráveis da Bacia Hidrográfica do Rio Paranhana.	73
Figura 43 - Morfologia do relevo no município de Canela - RS.....	74
Figura 44 - Relevo em Patamares no município de Igrejinha - RS.....	75
Figura 45 - Mapa de declividade da Bacia Hidrográfica do Rio Paranhana.	76
Figura 46 - Mapa de curvatura vertical da Bacia Hidrográfica do Rio Paranhana.....	78
Figura 47 - Mapa de curvatura horizontal da Bacia Hidrográfica do Rio Paranhana.	79
Figura 48 - Mapa de zonas geomorfologicamente vulneráveis da Bacia Hidrográfica do Rio Paranhana.	81
Figura 49 - Mapa de vulnerabilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Paranhana.	83

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Relação entre agravantes humanos e desastres consequentes (KOBAYAMA, 2006).	37
Tabela 2 - Nomenclatura para classificação de rochas (Adaptado de FIGUEIRÓ, 1997).	43
Tabela 3 - Termos técnicos utilizados em descrições petrográficas. Modificado de Nummer (2003).	44
Tabela 4 - Valores de Vulnerabilidade para a declividade na Bacia Hidrográfica do Rio Paranhana. (Adaptado de CREPANI, 2001).....	47
Tabela 5 - Valores de vulnerabilidade para a curvatura vertical na Bacia Hidrográfica do Rio Paranhana. (Adaptado de CREPANI, 2001).	48
Tabela 6 - Valores de vulnerabilidade para a curvatura horizontal na Bacia Hidrográfica do Rio Paranhana. (Adaptado de CREPANI, 2001).	49

Lista de Abreviaturas e Siglas

BHRP – Bacia Hidrográfica do Rio Paranhana

BHRS – Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

MDE – Modelo Digital de Elevação

SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission*

Sumário

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO.....	14
1.1 OBJETIVOS.....	17
1.1.1 OBJETIVO GERAL.....	17
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
1.2 JUSTIFICATIVA.....	17
CAPÍTULO II – CARACTERIZAÇÃO E ASPECTOS FÍSICOS DA ÁREA DE ESTUDO.....	19
2.1 GEOLOGIA.....	21
2.2 GEOMORFOLOGIA.....	21
2.3 PEDOLOGIA.....	22
2.4 VEGETAÇÃO.....	24
2.5 CLIMA.....	25
CAPÍTULO III – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	28
3.1 PRESSUPOSTOS TEÓRICOS GEOMORFOLÓGICOS.....	28
3.2 GEOLOGIA BACIA DO PARANÁ.....	32
3.3 VULNERABILIDADE AMBIENTAL.....	35
3.4 DESASTRES NATURAIS.....	37
3.5 PROJETO SRTM.....	39
CAPÍTULO IV MATERIAIS E MÉTODOS.....	41
4.1 METODOLOGIA PARA RECONHECIMENTO GEOLÓGICO.....	41
4.2 METODOLOGIA PARA RECONHECIMENTO GEOMORFOLÓGICO.....	45
4.2.1 DECLIVIDADE.....	46
4.2.2 CURVATURA VERTICAL.....	47
4.2.3 CURVATURA HORIZONTAL.....	48
4.3 METODOLOGIA DE ALGEBRA DE MAPAS.....	49
CAPÍTULO V – RESULTADOS.....	50
5.1 GEOLOGIA DA ÁREA.....	50
5.1.2 CARACTERÍSTICAS DAS ZONAS DE CONTATO LITOLÓGICO.....	51
5.1.3 ASPECTOS DE CAMPO.....	52
5.1.4 MAPA E ZONAS GEOLOGICAMENTE VULNERÁVEIS DA BHRP.....	71

5.2 GEOMORFOLOGIA DA ÁREA.....	74
5.2.1 MAPA DE ZONAS GEOMORFOLOGICAMENTE VULNERÁVEIS DA BHRP.....	80
5.3 AMBIENTES VULNERÁVEIS DA BHRP.....	82
CAPÍTULO VI – CONCLUSÕES.....	84
CAPÍTULO VII – REFERÊNCIAS.....	85
ANEXO 1.....	90
ANEXO 2.....	91
ANEXO 3.....	92

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

A visão holística da paisagem e a necessidade da compreensão das relações entre o homem, a natureza e a sociedade permitiu a formulação de novos enfoques para as pesquisas ambientais. Esta compreensão da relação homem x natureza, decorre dos avanços tecnológicos ocorridos em nível mundial e permite assumir que desde o período pós-guerra (1950) intensifica-se o sistema tecnológico resultando consequentemente na urbanização acelerada (SOARES, 2004).

Sabe-se que o homem possui a capacidade de modificar o meio natural e neste sentido, segundo Ross (2002), existe uma contradição entre sociedade e natureza, potencializada pelo crescimento demográfico e pelo progresso tecnológico, provocando distúrbios no equilíbrio dos ecossistemas. Essa aceleração produtiva impõe uma posição do sistema de ocorrer, de fato, o aumento da densidade da população e o uso abusivo dos recursos naturais a partir do início do século XX quando houve o rompimento do sistema harmônico ambiental, traduzido pela atual poluição e degradação do meio (PENTEADO, 1983).

Desde a década de 1970, às áreas urbanas brasileiras vêm exercendo uma pressão significativa no meio ambiente, tanto em regiões metropolitanas quanto em municípios de pequeno e médio porte, levando às condições extremas a pressão da população sobre os recursos naturais (FUJIMOTO, 2001).

Estudos têm avançado visando ao entendimento dos mecanismos que geram os problemas ambientais, principalmente nas últimas décadas onde os impactos são intensificados pelo mau uso e ocupação do solo. Atualmente considera-se o homem como um fator transformador das questões geológicas e geomorfológicas. A grande mudança vem do fato de que os cataclismos naturais são hoje um incidente, um momento, enquanto a ação antrópica tem efeitos continuados e cumulativos, assim criam-se os graves problemas entre o homem e a natureza (PENTEADO, 2006).

Neste sentido o estudo geomorfológico de cunho geográfico e geológico apresenta um estreito vínculo com a análise do ambiente. Pode-se dizer, genericamente, que a geomorfologia de cunho geográfico privilegia os estudos morfogenéticos, isto é, a busca de gênese das formas. A geomorfologia de cunho geológico privilegia a configuração espacial na sua relação com a disposição dos diversos tipos de rochas organizadas no tempo.

Este processo de reconhecimento geológico-geomorfológico tem como rotina fundamental a divisão da área em unidades, de acordo com a variação de seus atributos. As unidades representam áreas com heterogeneidade mínima quanto aos atributos e, em compartimentos cujas respostas são semelhantes frente aos processos de dinâmica superficial.

Os estudos geomorfológicos procuram entender a forma da terra e tornar compreensíveis os processos que atuam na sua superfície. Essa meta, por si só, dá a idéia da complexidade dos processos e dos fenômenos envolvidos. Reconhecer as diversas litologias se faz importante visto que, rochas diferentes apresentam comportamentos diferenciados frente aos processos de intemperismo gerando a origem de materiais de cobertura variados. Os diversos tipos de rochas e de materiais de cobertura, em função de suas características particulares, podem favorecer mais ou menos a ocorrência de processos erosivos, de processos de movimentos de massa e de inundação (FUJIMOTO, 2001).

Por apresentarem um relevo acidentado, as regiões escarpadas, são palcos de frequentes desastres naturais (movimentos de massa e inundações). Segundo Ross (1994) qualquer alteração nos componentes da natureza (relevo, solo, vegetação, clima e recursos hídricos) acarreta no comprometimento da funcionalidade do sistema, rompendo desta forma com o equilíbrio dinâmico deste.

Estudos voltados à relação entre o substrato rochoso e as formas de relevo visando o planejamento ambiental vêm se tornando nas últimas décadas prioridade na identificação de áreas suscetíveis a desastres naturais como os movimentos de massa, principalmente em regiões serranas.

Nestas áreas é comum a ocorrência de processos determinados pela ação antrópica que atuam na instabilização de encostas como, os cortes de taludes e de aterros para construção de estradas bem como o mau uso do solo e da cobertura vegetal. Os fenômenos de ordem natural também devem ser levados em consideração na análise do relevo. O intemperismo é um forte atuante na degradação e desgaste das rochas, transportando os sedimentos para as partes baixas do relevo e tendo como agentes principais o clima, o vento e as águas subterrâneas e superficiais.

A bacia hidrográfica do rio dos Sinos situa-se no nordeste do estado do Rio Grande do Sul, e abrange os municípios de Novo Hamburgo, Parobé e Taquara, pertencentes à Região Metropolitana de Porto Alegre (RMPA) os quais são densamente povoados. De acordo com os estudos realizados por grupos de pesquisas da Universidade Federal do Rio

Grande do Sul (UFRGS) o principal problema ambiental desta região está vinculado a inundações de grande magnitude (OLIVEIRA, 2010).

Na bacia hidrográfica do Rio Paranhana, situada à margem direita do Rio dos Sinos, na encosta da unidade geomorfológica do Planalto Meridional (IBGE, 2008), somase às inundações, os movimentos de massa decorrente do relevo caracteristicamente escarpado. Conforme diagnosticado por Riffel (2012), nesta área a Defesa Civil diagnosticou entre os anos de 2003 a 2012, trinta e sete ocorrências de desastres naturais caracterizados como: vendaval, tornado, enchente, inundação, alagamento, movimentos de massa e granizo.

Neste contexto, são importantes os estudos geológico-geomorfológicos, que venham a auxiliar no planejamento e zoneamentos de áreas com vulnerabilidade ambiental. Este trabalho apresenta uma análise geológico-geomorfológica com a finalidade de identificar agentes que geram a instabilização dos taludes naturais e de corte na Bacia Hidrográfica do Rio Paranhana. A geração destes dados permite os estudos voltados ao planejamento ambiental desta unidade de análise.

O presente trabalho foi organizado em sete capítulos, o Capítulo I traz uma apresentação geral do assunto a ser tratado ao longo da dissertação somado aos objetivos, geral e específicos a serem executados. Na sequência, no Capítulo II é apresentada a área de estudo, a Bacia Hidrográfica do Rio Paranhana, onde é caracterizada pelas suas variáveis ambientais como: o relevo, a vegetação, o clima, a geologia, a hidrografia e solos.

No Capítulo III é apresentada a fundamentação teórica trazendo temas importantes na análise geológica - geomorfológica proposta. Neste capítulo serão abordados os aspectos geológicos e geomorfológicos em escala regionais e em escala local da área de estudo, bem como o uso de técnicas de sensoriamento remoto como os dados *SRTM* (*Shuttle Radar Topography Mission*) para extração das variáveis geomorfométricas. De forma a conceituar a aplicabilidade do trabalho, ainda neste capítulo foi realizada uma revisão bibliográfica acerca dos desastres naturais.

O Quarto Capítulo refere-se aos materiais e métodos utilizados para o reconhecimento geológico e geomorfológico da bacia hidrográfica do Rio Paranhana. No capítulo V são apresentados os resultados referentes ao diagnóstico realizado a partir do reconhecimento geológico e geomorfológico, em campo e em laboratório, bem como o cruzamento destes dados apontando as áreas com vulnerabilidade ambiental.

Finalizando o presente trabalho no Capítulo VI, são apresentadas as considerações finais.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

O objetivo geral desta dissertação é reconhecer zonas ambientalmente vulneráveis em áreas de contato litológico na bacia hidrográfica do Rio Paranhana, localizada na margem direita do Rio dos Sinos, através de análise geológico-geomorfológica.

1.1.2. Objetivos Específicos

_Analisar o quadro geológico e geomorfológico da Bacia Hidrográfica do Rio Paranhana.

_Elaborar mapas temáticos auxiliares 1: 250.000 (declividade, curvatura vertical, curvatura horizontal) para analisar o modelado do relevo.

_Associar os elementos geológicos e os geomorfológicos de maneira a produzir o mapa de vulnerabilidade ambiental da BHRP.

1.2. JUSTIFICATIVA

A área selecionada para o presente estudo situa-se na encosta do planalto meridional que possui relevo escarpado, constituído por vertentes escalonadas em patamares e modelado pela alternância de derrames magmáticos. Segundo Nummer (2003) os taludes de corte, bem como os taludes naturais, localizados no nordeste do Rio Grande do Sul estão sujeitos a instabilidades geradas por movimentos de quedas de blocos e de escorregamentos. Os mecanismos de instabilização desses taludes dependem de inúmeros fatores, porém os condicionantes básicos são determinados por características litológicas, estruturais e geomorfológicas.

A partir do ano de 2008 com a ocorrência de deslizamentos no município de Blumenau no estado de Santa Catarina e no ano de 2010 com os desastres naturais ocorridos na região de Petrópolis e Niterói no estado do Rio de Janeiro, que estudos

voltados ao reconhecimento do ambiente instável ganharam destaque nas pesquisas em nível nacional. Segundo Robaina (2010) áreas naturalmente susceptíveis a ocorrência de eventos adversos oferecem perigo quando ocupadas.

Como exemplo de caso, a urbanização na região de escarpa do Rio Grande do Sul (Gramado, Canela, Três Coroas, Igrejinha) provocou intensa transformação no ambiente, potencializando o risco de desastres. Segundo Ross (1992) todas as modificações inseridas pelo homem no ambiente natural alteram o equilíbrio da natureza. Assim, compreender a geologia e a geomorfologia de uma área auxilia para um melhor planejamento territorial, organizando a distribuição da população no espaço, no sentido de evitar ocupações em áreas com risco e vulnerabilidade ambientais.

Logo, este trabalho justifica-se por apresentar aspectos geológicos, geomorfológicos visando o melhor entendimento de áreas frágeis, como taludes naturais, taludes de corte, falhamentos e relevo declivoso que condiciona diferentes tipos de movimentos de massa que podem ocorrer em áreas povoadas levando às situações de perigo e risco.

CAPÍTULO II

CARACTERIZAÇÃO E ASPECTOS FÍSICOS DA ÁREA DE ESTUDO

A hidrografia do estado do Rio Grande do Sul divide-se em três regiões: Guaíba, Litoral e Uruguai (PRÓ-SINOS, 2013). Na região hidrográfica do Guaíba existem nove bacias: Vacacaí, Pardo, Baixo Jacuí, Alto Jacuí, Taquari-Antas, Caí, Sinos, Gravataí e Lago Guaíba. A bacia hidrográfica do Rio dos Sinos é a bacia mais estudada no estado tendo em vista a densidade demográfica e industrial que eleva a taxa de contaminação com produtos químicos gerados principalmente pelo setor coureiro calçadista (BASSO, 2004).

Com uma área de 3.596 km² e uma população de cerca de 1,5 milhões de habitantes, a bacia hidrográfica do Rio dos Sinos tem suas nascentes no município de Caraá, em altitude de aproximadamente 700 m. Seus principais afluentes à margem esquerda são os arroios Sapiranga, Luis Rau, Portão, João Corrêa e Sapucaia; à margem direita são os rios, Rolante, da Ilha e Paranhana, sendo este último o objeto de estudo do presente trabalho.

O Rio Paranhana localiza-se em uma região de relevo fortemente ondulado e escarpado por situar-se na encosta do planalto. Dada a sua localização recebeu este nome dos índios que habitavam esta região no passado. Paranhana quer dizer “águas em movimento” ou “rio de corredeiras” (PRÓ-SINOS, 2013). “A Bacia Hidrográfica do Rio Paranhana (BHRP) ocupa uma área de 572,22 km² e está inserida na bacia do Rio dos Sinos no centro-nordeste do estado do Rio Grande do Sul (figura 1), entre as coordenadas geográficas 29°19'00”S - 50° 54'30” W e 29°41'30”S - 50°35'00”W.

A rede hídrica do Rio Paranhana se forma a partir das águas transpostas da bacia do Caí nas barragens do Salto, Divisa e Blang. Suas nascentes estão localizadas nos municípios de Canela, Gramado e São Francisco de Paula, a cerca de 900 m de altitude e sua confluência com o Rio dos Sinos localiza-se no município de Taquara a uma altitude de 20 m (RIFFEL, 2012). Os municípios que compõe a BHRP são Parobé, Taquara, Igrejinha, Três Coroas, São Francisco de Paula, Gramado e Canela.

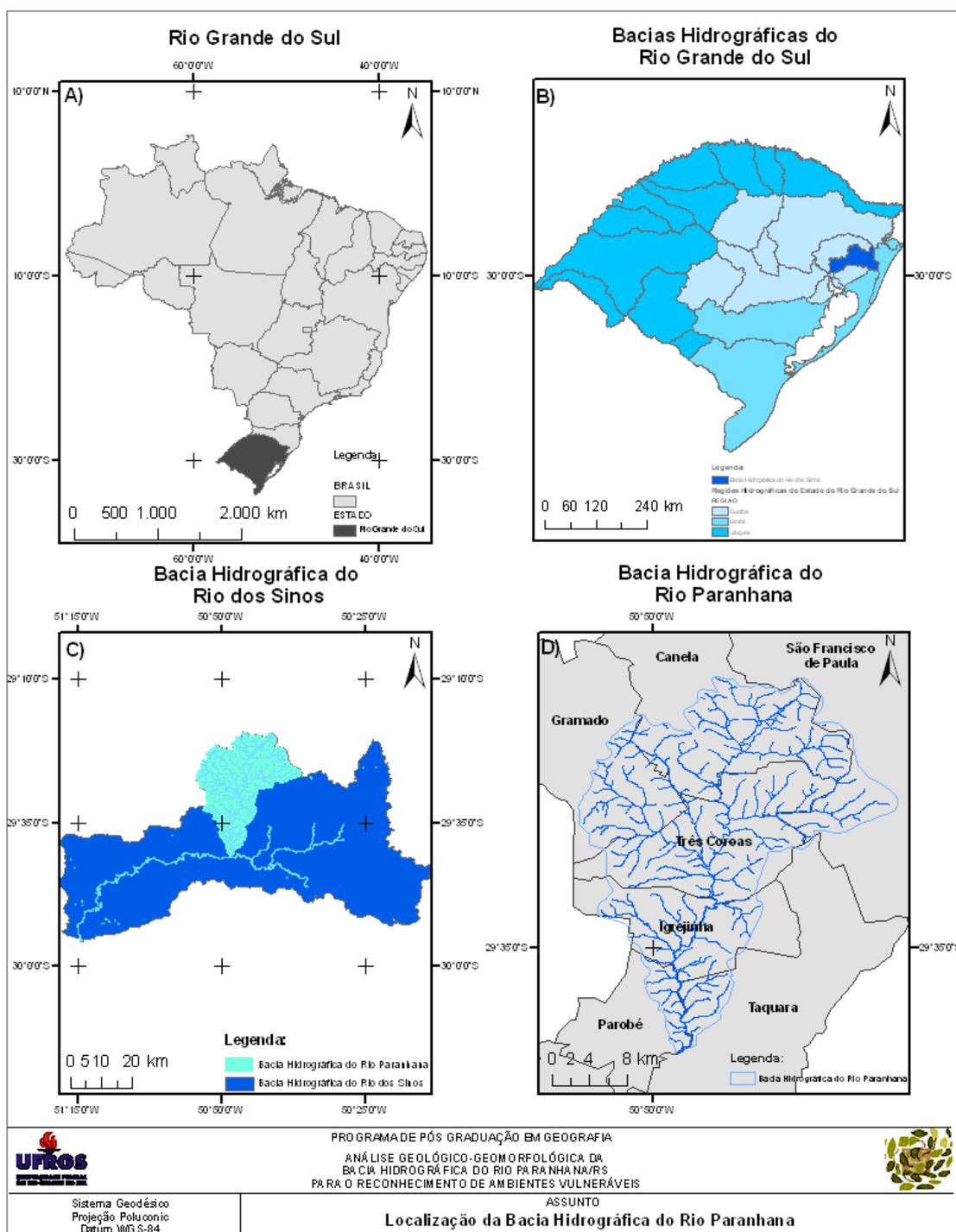


Figura 1 - Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Paranhana. A) Localização do estado do Rio Grande do Sul no Brasil. B) Bacias Hidrográficas do estado do Rio Grande do Sul com destaque para a Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos. C) Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos com rede hidrográfica, destacando a localização da Sub-bacia Hidrográfica do Rio Paranhana. D) Área de estudo: Sub-bacia Hidrográfica do rio Paranhana, com destaque para limites municipais e rede hidrográfica.

2.1 GEOLOGIA

A unidade geológica desta área corresponde à porção sudeste da Bacia do Paraná a qual se constitui como uma bacia intracratônica, desenvolvida sobre a crosta continental sendo preenchida por rochas sedimentares e vulcânicas (BORSATTO, 2011).

Nesta região estão presentes litologias correspondentes a supersequência Gondwana III (MILANI, 1997) da mais antiga para mais recente: Formação Botucatu e Formação Serra Geral. Esta última representa a área de estudo pelas Fácies Caxias e Gramado. As rochas da Fácies Caxias são de composição ácida apresentando-se mais resistentes devido ao alto teor de sílica em sua composição mineralógica. As mesmas são encontradas na borda norte da BHRP. As rochas da Fácies Gramado são de composição básica sendo representadas pelos basaltos que cobrem cerca de 80% da área da BHRP.

2.2 GEOMORFOLOGIA

A Bacia Hidrográfica do Rio Paranhana situa-se na região geomorfológica do Planalto das Araucárias e na Depressão Central Gaúcha. Dividindo-se nas Unidades Geomorfológicas (UG) do Planalto dos Campos Gerais, Serra Geral, Patamares da Serra Geral e Planície Alúvio-Coluvionar e Depressão do Rio Jacuí (IBGE, 2000).

O relevo do Planalto dos Campos Gerais de acordo com o RADAM BRASIL (1986) foi desenvolvido sobre as formações vulcânicas sendo marcado por colinas de pequena amplitude, separadas por vales alargados por sucessivas etapas de dissecação que deixaram rupturas de declives e pequenos desníveis. Esta unidade geomorfológica (UG) caracteriza-se por apresentar morfologia planar e está situada em altimetrias superiores a 650 m e declividades inferiores a 25% (LUERCE, 2013).

A UG Serra Geral está vinculada as regiões onde o substrato é composto por rochas vulcânicas básicas abrangendo todos os municípios da bacia do Rio Paranhana. Situa-se a Sul, logo abaixo (direção Norte-Sul) do Planalto dos Campos Gerais nos terminais escarpados e abruptos. Esta região é propícia para o desenvolvimento e preservação da vegetação florestal. Segundo Luerce (2013) as formas de relevo são bastante abruptas com vales encaixados bem aprofundados, nesta UG a altimetria varia entre 180 e 650m e a declividade é maior de 25%.

Nos terminais rebaixados da Serra Geral encontra-se a UG Patamares da Serra Geral. Nesta unidade o relevo de colinas apoia-se no substrato arenítico da Formação

Botucatu. Os morros apresentam baixo aprofundamento dos vales fluviais. A altimetria varia entre 60 e 180 m.

Nas áreas de altimetria inferior a 20 m encontra-se a UG, da planície Alúvio-Coluvionar que corresponde à superfície plana, resultante da convergência de leques de espraiamento e concentração de depósitos de enxurradas nas partes terminais de pedimentos (IBGE, 2000).

Localizada entre os domínios do Planalto das Araucárias e Planície Continental está a Depressão do Rio Jacuí que apresenta relevo sem grandes variações altimétricas com colinas de topos convexos ou coxilhas em sua maioria situada sobre a Formação Botucatu.

2.3 PEDOLOGIA

Considera-se solo a camada superficial resultante da adaptação das rochas aos processos intempéricos. Esta camada é constituída de partículas minerais e orgânicas, distribuídas em horizontes de profundidade variável. O processo de constituição do solo inicia como já mencionado, com a rocha sã exposta a processos de intemperismo. Com o passar do tempo esta rocha é desagregada formando um solo pouco desenvolvido. Dando seqüência evolutiva, a vegetação se desenvolve e influencia, por meio de suas raízes, no intemperismo, ajudando na desagregação dos minerais (PENTEADO, 2011). A figura 2, a seguir, ilustra o processo evolutivo descrito.

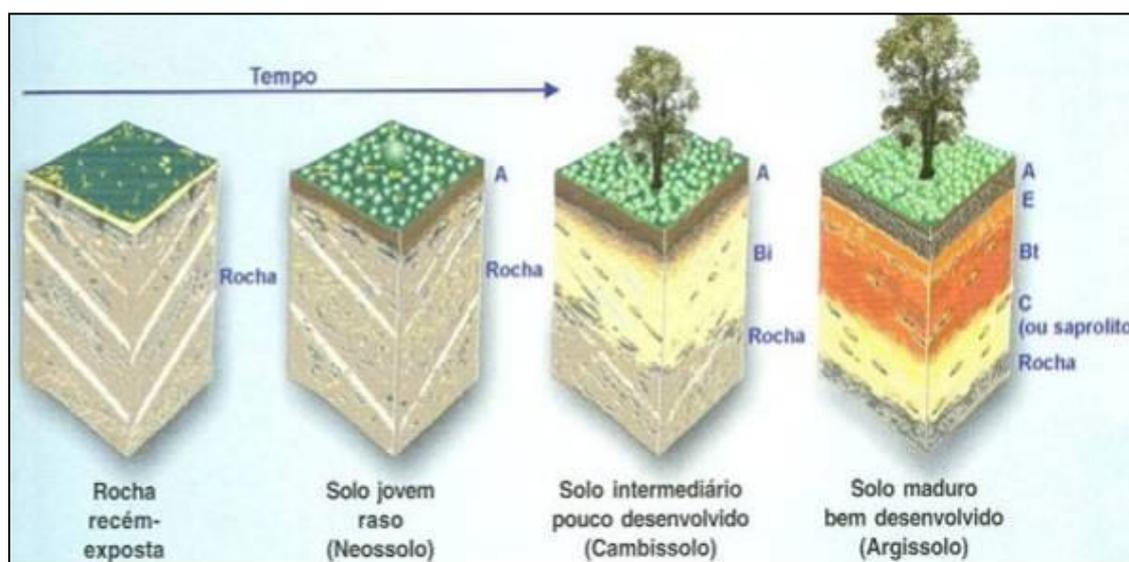


Figura 2 - Evolução do solo ao longo do tempo. (LEPSCH, 2002).

Na bacia hidrográfica do Rio Paranhana, segundo o mapeamento realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2002), apresentam-se sete tipos de solos (Cambissolos Húmicos, Chernossolos Argilúvicos, Neossolos Litólicos, Nitossolos Háplicos, Nitossolos Vermelhos, Argissolos Vermelhos-Amarelos, Cambissolos Háplicos).

De norte para sul da bacia do Rio Paranhana os mesmos serão descritos a seguir:

- i) No setor norte da bacia hidrográfica nos municípios de Canela, São Francisco de Paula, Gramado e no centro em Três Coroas, encontram-se os Cambissolos Húmicos (CbHa1). Estes possuem textura argilosa e muito argilosa com fase rochosa e não rochosa. O substrato é composto por riodacitos e o relevo da região é ondulado com afloramentos de rocha.
- ii) Nos municípios de Gramado e Três Coroas encontram-se solos do tipo Chernossolos Argilúvicos (BV6) com textura médio/argilosa e argilosa com fase pedregosa. Estes solos possuem associações complexas com solos litólicos eutróficos onde a textura é média cascalhenta e média com fase pedregosa. Nesta região tem-se o basalto como substrato e o relevo é fortemente ondulado.
- iii) Nos municípios de Canela, São Francisco de Paula e Três Coroas encontram-se Neossolos Litólicos (Re24), que possuem textura média cascalhenta com fase pedregosa. No substrato de basalto a textura é argilosa, média/argilosa com média fase pedregosa. O relevo da região caracteriza-se por ser forte ondulado e montanhoso.
- iv) Os Nitossolos Háplicos (TBCHa1) são encontrados no noroeste do município de Três Coroas. Caracterizam-se por sua textura argilosa e muito argilosa, o relevo é suavemente ondulado e ondulado. O substrato é composto por riodacitos.
- v) Nos municípios de Três Coroas e Igrejinha é possível identificar Nitossolos Vermelhos (TRe 6) com textura é muito argilosa com fase pedregosa e não pedregosa. Possui associação complexa de solos litólicos eutróficos com textura média cascalhenta e média com fase pedregosa. O substrato da região é composto por basaltos e o relevo é fortemente ondulado e ondulado.
- vi) Os Argissolos Vermelho-Amarelos (Pva 8) são encontrados nos municípios de Três Coroas, Igrejinha, Taquara, e Parobé. Este solo é caracterizado por

sua textura arenosa/argilosa, arenosa/média e média/argilosa. O relevo da região é suave ondulado e ondulado devido ao substrato de arenitos da Formação Botucatu.

- vii) Os Cambissolos Háplicos (Ce1) são encontrados na região da foz do rio Paranhana nos municípios de Taquara, Igrejinha e Parobé. Estes solos possuem textura argilosa e o relevo é plano e suavemente ondulado. Os Cambissolos Háplicos associam-se aos gleissolos eutróficos com textura é argilosa e relevo é caracteristicamente plano.

2.4 VEGETAÇÃO

A área de estudo compreende três tipos de vegetação distintos, os quais com o passar do tempo foram reduzidos pela ação antrópica. De acordo com o levantamento realizado pelo IBGE no ano de 1986 a bacia hidrográfica do Rio Paranhana, é composta por Estepes (campestre com floresta de galeria) no norte, pela Floresta Ombrófila Mista (altomontana) no centro norte e pela Floresta Estacional Semidecidual (submontana) no centro-sul. Estes ecossistemas encontram descritos a seguir:

- i) Estepes (campestre com floresta de galeria) encontram-se na região dos Campos de Cima da Serra e sua cobertura herbácea é composta por gramíneas cespitosas (NUMMER, 2003). As florestas galeria apresentam-se em grupos pouco densos ou como mata ciliar ao longo dos cursos d'água. As espécies arbóreas são esguias, às vezes com pequenas Sapopemba. Estas florestas galeria são ricas em samambaias e begônias. Na área de estudo a estepe encontra-se intimamente relacionada com a Floresta Ombrófila Mista no planalto das Araucárias.
- ii) Floresta Ombrófila Mista (altomontana), encontra-se na região do planalto das Araucárias, caracteriza-se por uma fisionomia própria, onde o estrato superior é dominado pela *Araucaria angustifolia*, apresentando uma altura de aproximadamente 35m, ocorrendo em altitudes de aproximadamente 1000 metros. O estrato inferior é composto por árvores baixas, arbustos arborescentes pertencentes em grande parte às mirtáceas, sendo comum a aroeira, espinho de São João, uma grande quantidade de epífitas, orquídeas, musgos e líquens (NUMMER, 2003).

- iii) Floresta Estacional Semidecidual (submontana) abrange a maior parte da área de estudo. Localiza-se em área de relevo ondulado a fortemente ondulado com altitudes de 30 a 700 metros. A vegetação nativa é possível observar nos pontos mais inacessíveis como topos de morros, onde se encontram espécies como o cedro, o catiguá, a guabioba, o louro-pardo, a paineira e o tarumã (WEISSHEIMER, 2007). Também é possível observar manchas uniformes de vegetação exótica como eucaliptos e acácias e Uva do Japão.

As Estepes e a Floresta Ombrófila Mista (altomontana), assim como a Estacional Semidecidual (submontana), já não se encontram mais no seu estado original, devido à ocupação antrópica. Os usos mais comuns são para moradia, para agricultura, e para o turismo. Mediante ao desmatamento para as atividades agrícolas e o posterior abandono a vegetação secundária passou a se desenvolver em extensas áreas na bacia hidrográfica do Rio Paranhana.

2.5 CLIMA

A região do vale do Paranhana destaca-se por sua variação de temperatura em função da diferença de altitude entre o sul e o norte da bacia. A altimetria do sul chega a cerca de 20 metros nos municípios de Taquara e Parobé. No norte da bacia chega a aproximadamente 1000 metros nos municípios de Gramado, Canela e São Francisco de Paula (RIFFEL, 2012).

Segundo os dados disponibilizados pelo INMET (2013) na estação A879 (Canela) no ano de 2013 nos meses de janeiro a março (figura 3) a temperatura média foi de 18°C e nos meses de janeiro a maio a temperatura média da região foi de 14°C (MAGNA, 1996).

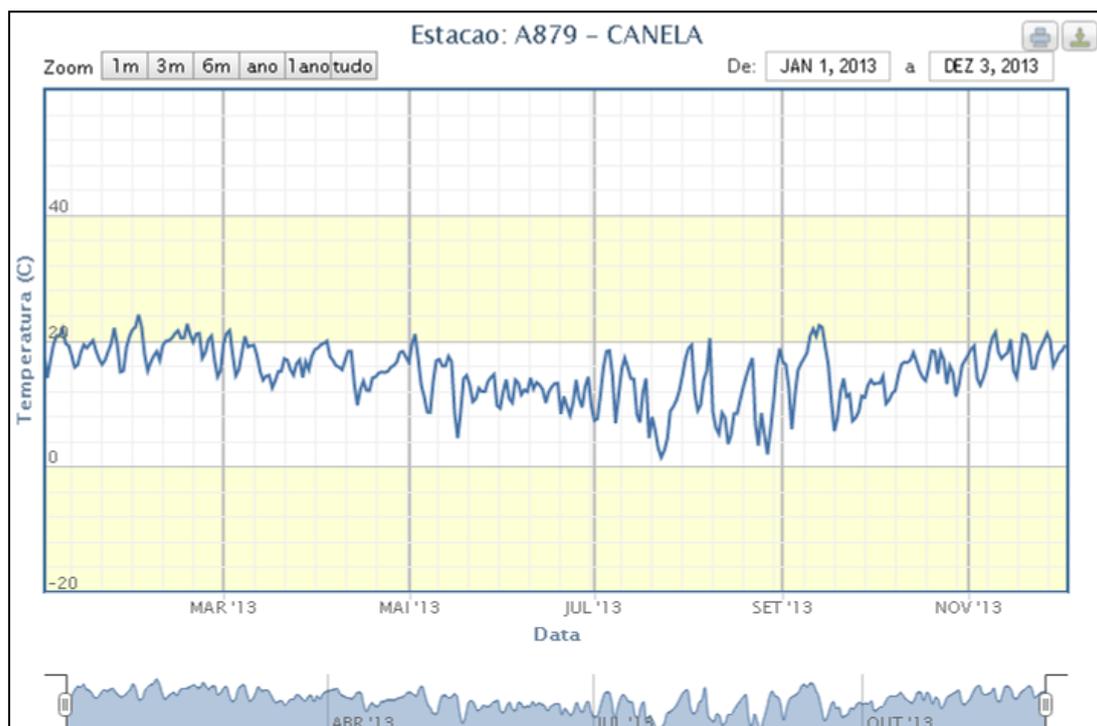


Figura 3 - Gráfico de temperatura da estação A879 de Canela, nos meses de Janeiro a Dezembro de 2013.

Fonte: INMET (2013).

Já nos meses de maio a agosto houve registros de temperaturas negativas principalmente no final do mês de julho aumentando, desta forma, a amplitude térmica da região. A umidade neste mesmo período manteve-se constante entre 60% e 90% nos meses de janeiro a abril. Já nos meses de maio a agosto a umidade obteve registros de 30% a 100%.

A precipitação na região de acordo com o gráfico (figura 4) disponibilizado pelo INMET (2013) atingiu altas pluviométricas nos meses de agosto, setembro e novembro.

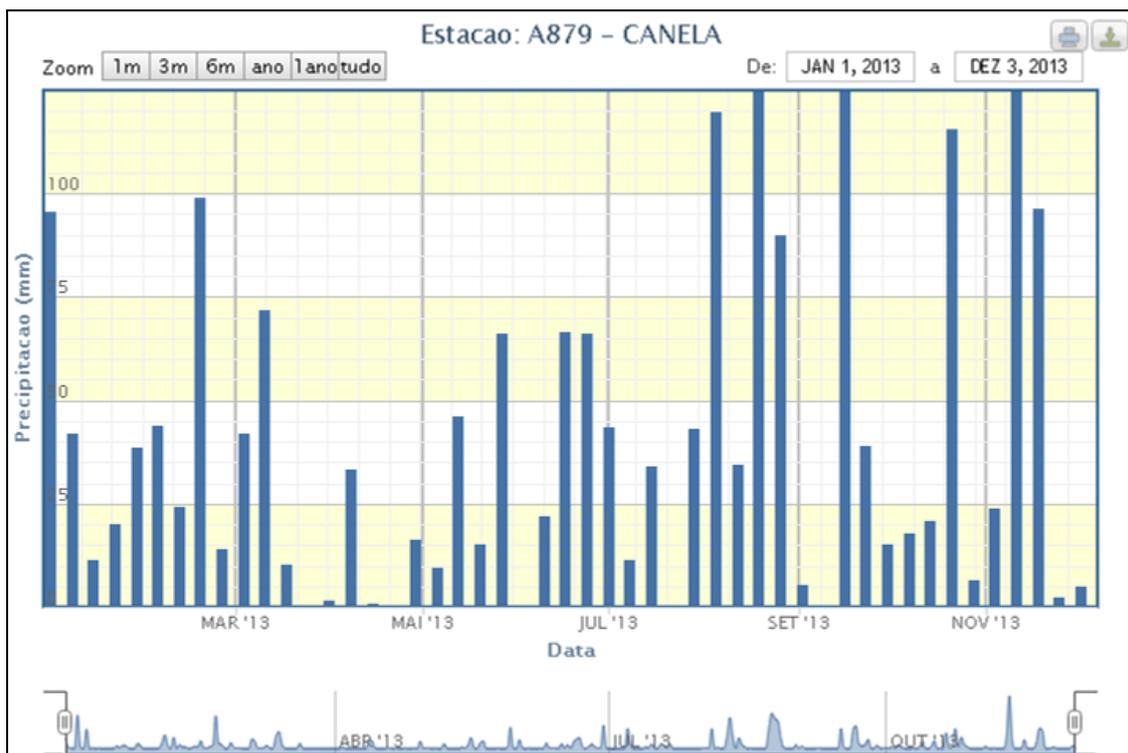


Figura 4 - Pluviosidade dos meses de Janeiro a Dezembro da estação A879 de Canela. Fonte: INMET (2013).

De acordo com Magna (1996) as precipitações na região possuem médias de 2310 mm no município de São Francisco de Paula localizado na porção nordeste da bacia do Rio Paranhana e na porção média inferior do rio no município de Taquara a precipitação atinge uma média de 1401 mm.

CAPÍTULO III – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 PRESSUPOSTOS TEÓRICOS GEOMORFOLÓGICOS

O estudo geomorfológico tem como principal objetivo compreender a dinâmica e as características impressas por forças exógenas e endógenas a um relevo de uma determinada área e a análise de suas transformações. Através dos estudos de Willian Morris Davis (1899) é possível perceber uma preocupação em descrever a evolução do relevo (CHISTOFOLETTI, 1974). Davis, considerado o “criador” do ciclo geográfico, embora tenha contribuído para a compreensão do relevo apresenta algumas deficiências na análise como, por exemplo, a não consideração de reativação tectônica do ambiente estudado e as mudanças climáticas como agente modelador.

Seguindo o estudo de Davis, Walter Penck (1924) reinterpretou o ciclo geográfico considerando o clima como fator influenciador nas formas de relevo (CHISTOFOLETTI, 1974). Guerassimov (1946) e Mecerjakov (1968) dedicaram seus estudos a perceber como ocorre a interação entre os processos da dinâmica terrestre, endógenos e exógenos, para compreender as morfoestruturas ligadas à gênese e as morfoesculturas vinculadas a esses processos. Grigoriev (1968) trouxe o conceito de estrato geográfico (figura 5), demonstrando onde atuam todos os componentes naturais (vegetação, fauna, homem, relevo, solos e rochas).

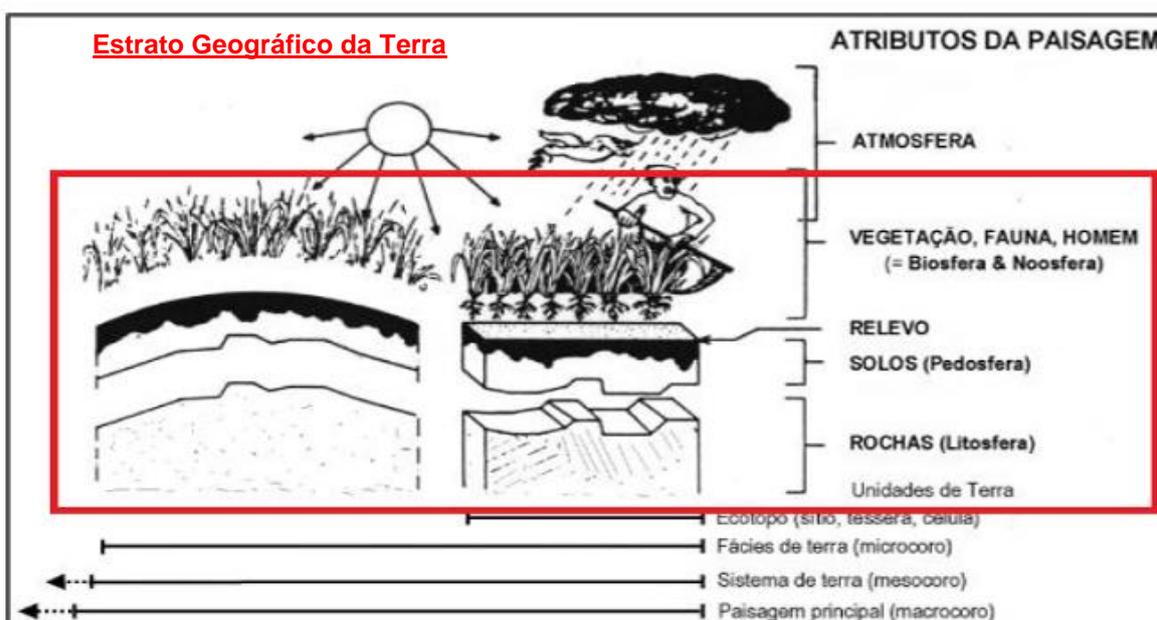


Figura 5 - Representação do Estrato Geográfico demonstrando a interação entre o substrato rochoso, tipos de solos, relevo e a ações antrópicas. Fonte: Adaptado de Medeiros (1999).

Tricart (1977) ao estudar os problemas do meio ambiente define o conceito de sistema que é essencial. Nesse contexto, Tricart (1977) aponta a diferenciação entre o meio natural e o meio construído/modificado pelo homem em relação às esferas da superfície/atmosfera. Neste contexto, a bacia hidrográfica é a reflexão do modelo sistêmico em função do seu ciclo hidrológico, que corresponde às interações entre atmosfera, precipitação, vegetação, solo e litologia.

O entendimento da dinâmica do relevo considera duas linhas de estudo: uma que trata da compreensão, funcionamento e interrelação dos componentes naturais e outra referente ao planejamento, potencialidades tecnológicas e a atuação humana. Esta dinâmica traduz as formas de relevo que se dividem em dimensões relativas, idades e processos genéticos mais ou menos instáveis e que são desencadeados pelos fatores naturais ou antrópicos (ROSS, 1992). É nesta perspectiva que se inicia a preocupação, além dos fluxos de matéria e energia, descritos pela espacialização desses fenômenos (GRIGORIEV, 1968).

As teorias relacionadas à geomorfologia partem de duas correntes, uma anglo-americana e outra alemã. A escola anglo-americana se detém principalmente na evolução do modelado do relevo e inicia com as idéias de Davis em 1899 com a Teoria do Ciclo Geográfico¹ – considerando o enquadramento tectônico e a erosão fluvial (forma normal de erosão). Desta forma o relevo seria definido através dos processos operantes do tempo e classificados em fases de juventude, da maturidade e da senilidade, enquanto as forças endógenas entre os ciclos são desconsideradas e a fase da maturidade denotaria o perfil de equilíbrio fluvial (CHRISTOFOLETTI, 1974; ABREU, 2003).

Seguindo as mesmas concepções de Davis que considerava a evolução do relevo como um sistema fechado, Lester King em 1953 sugeriu a Teoria da Pediplanação, com a regressão paralela das vertentes. Alguns avanços desta escola resultaram em teorias que incorporaram outros fatores também responsáveis pela evolução do relevo, considerando-o como um sistema aberto com trocas de matéria e energia com outros sistemas (Teoria do Equilíbrio Dinâmico e Teoria Probabilística) (CHRISTOFOLETTI, 1974; ABREU, 2003). Em outra perspectiva a escola alemã apresenta propostas empírico-naturalistas e tem como principal teórico Penck (1894). Para este, o entendimento das formas de relevo considera as forças endógenas (processos tectônicos, resistência das rochas), as forças exógenas

¹ A teoria proposta por William Morris Davis apresenta uma concepção finalista sistematizada na sucessão das formas de um ciclo ideal conforme descreve Christofolletti (1998). Este modelo teórico se apoia na elaboração de três fases no processo de evolução do modelado terrestre: a juventude, a maturidade e a senilidade, podendo retornar novamente a uma fase de juventude através de movimentos epirogenéticos caracterizando um processo de rejuvenescimento do relevo.

(ação climática, erosão e transporte de base rochosa) e a ação conjunta das duas forças. A partir disso, com a observação e análise dos fenômenos espacializados, surge como principal instrumento e método a cartografia geomorfológica (ABREU, 2003).

Na geografia física, relacionar os vários elementos da superfície incluindo forças endógenas e exógenas, respectivamente, se remete as concepções de Penck. Considerando estas forças que atuam na formação do relevo, Guerassimov (1946) e Mescerjakov (1968) definiram os conceitos de morfoestrutura e de morfoescultura. A morfoestrutura está relacionada com as grandes formas do relevo da superfície continental e oceânica, as quais encontram relação genética estreita com a estrutura e os movimentos da crosta terrestre. A morfoescultura é diferenciada em função da sua estrutura e das condições ambientais zonais resultado da ação climática atual e pretérita (MESCERJACOV, 1968; ROSS, 1992).

Para Ross (1992) a definição de uma taxonomia e a representação cartográfica encontra dificuldade devido ao fenômeno representado (formas tridimensionais, diferentes formatos, tamanhos, gêneses e idades). Com isso, a classificação apoia-se no aspecto fisionômico (influência genética e indicador de idade) e não na escala espacial relacionada ao tamanho da forma (figura 6).

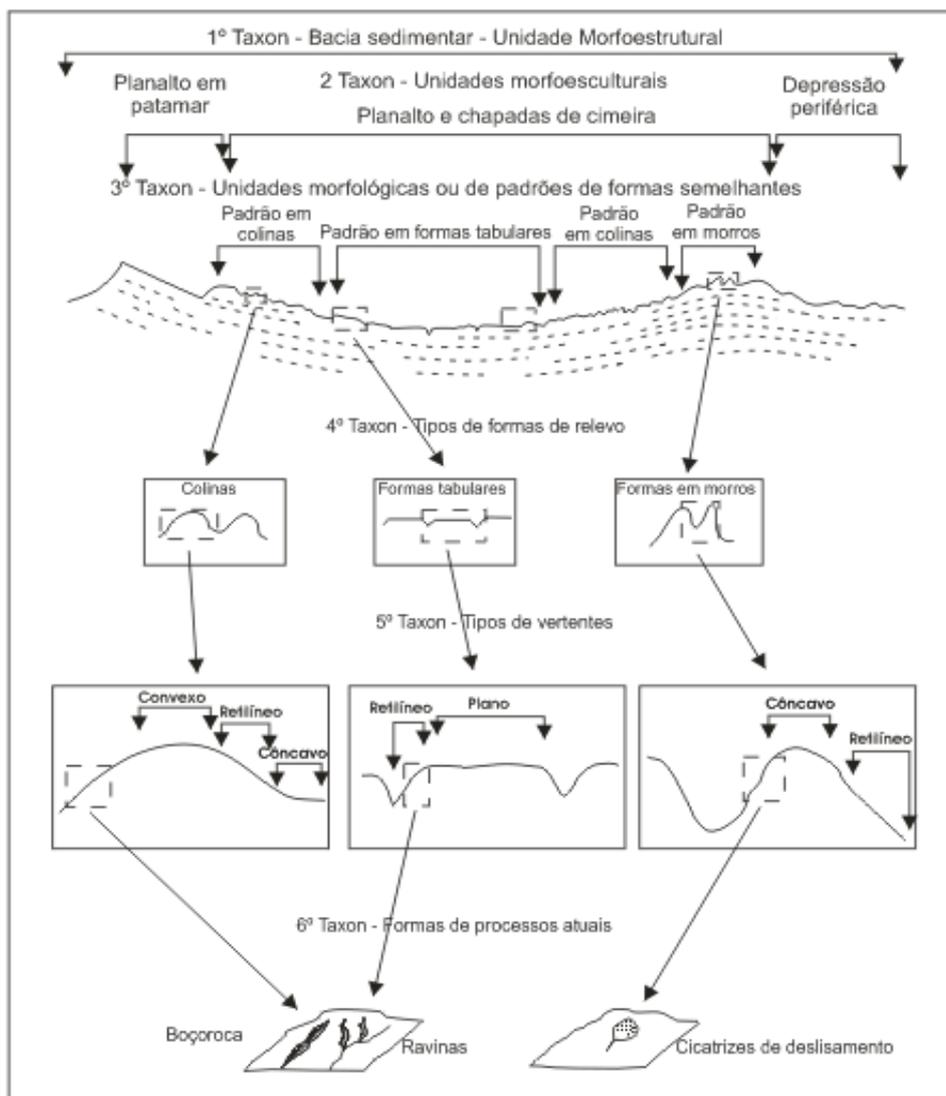


Figura 6 - Representação das seis seqüências taxonômicas do relevo proposta por Jurandyr Ross em 1992. Fonte: Florenzano (2008).

A questão de escala, observando os critérios espaciais e temporais, foi abordada por Cailleux e Tricart em 1965, que elaboraram uma taxonomia das formas do relevo baseada em princípios dinâmicos e dimensionais. Por meio da escala de estudo do relevo que se determinam as estratégias e as técnicas de abordagem para a análise geomorfológica (KOHLER, 2001).

Sob influência da escola francesa Ab'Saber (1969) promoveu a maior contribuição para a geomorfologia brasileira, utilizando conceitos para o entendimento desta ciência em três níveis: 1) compartimentação topográfica, 2) caracterização da área e 3) descrição.

Estes níveis se referem à estrutura superficial dos compartimentos e das formas de relevo, os quais consideram a cronogeomorfologia (observações geológicas, descrição das

formas), os processos morfoclimáticos e os processos pedogênicos (dinâmica climática, estrutura superficial da paisagem) e o funcionamento da fisiologia da paisagem (estudo da situação do relevo atual dando ênfase ao uso e ocupação do modelado).

O estudo da paisagem apresenta importância na medida em que busca compreender a macro morfologia para relacionar com as pequenas feições levando em consideração os processos antrópicos. Nesse sentido, vários fatores têm influência e com isso a importância de trabalhos interdisciplinares favorecendo a utilização de técnicas cartográficas para o reconhecimento geomorfológico.

A utilização de dados de sensoriamento remoto vai ao encontro do aprimoramento das técnicas e da precisão dos mapeamentos geomorfológicos. O projeto Radam Brasil, pesquisa sistemática desenvolvida nos anos 1970 a 1980, utilizou-se de imagens de radar e multiespectrais para mapear os recursos naturais do país, reduzindo o tempo de levantamento de campo, obtendo dados de geologia, de solos, de hidrografia, da cobertura vegetal e da geomorfologia. Este projeto auxiliou na aferição dos dados geomorfológicos já existentes. Estudos do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) também utilizaram imagens de Radar em escalas médias e pequenas (entre 1: 50.000 a 1: 1.000.000). Entre os procedimentos realizados enquadram-se a identificação visual dos padrões de formas semelhantes a partir da rugosidade topográfica e a identificação de “manchas” urbanas.

As técnicas de geoprocessamento e principalmente de sensoriamento remoto disponibilizam para a geomorfologia grande variedade de informações, como imagens de satélite com melhores resoluções (temporal, espacial, radiométrica e espectral), recursos de estereoscopia em imagens ópticas e dados altimétricos (*SRTM*).

3.2 GEOLOGIA DA BACIA DO PARANÁ

A Bacia Hidrográfica do Rio Paranhana está inserida na bacia sedimentar do Paraná, sendo esta caracterizada como uma ampla região vulcano-sedimentar de aproximadamente 1,5 milhões de km² de área. Sua forma é ovalada com eixo maior N-S sendo seu contorno atual definido por limites erosivos relacionados em grande parte a história geotectônica Meso-Cenozóica do continente.

A porção centro-sul da Bacia do Paraná foi modelada pela erosão em função do soerguimento crustal associado ao rifte do Atlântico Sul, tendo a remoção de seção sedimentar sido estimada em até 2.500 m (ZANOTTO, 1993).

Na estratigrafia da Bacia do Paraná, segundo Milani (1997) é possível reconhecer seis pacotes ou supersequências deposicionais. Da sequência mais antiga para a mais recente, denominam-se: Supersequência Rio Ivaí; Supersequência Paraná; Supersequência Gondwana I; Supersequência Gondwana II; Supersequência Gondwana III; Supersequência Bauru (figura 7).

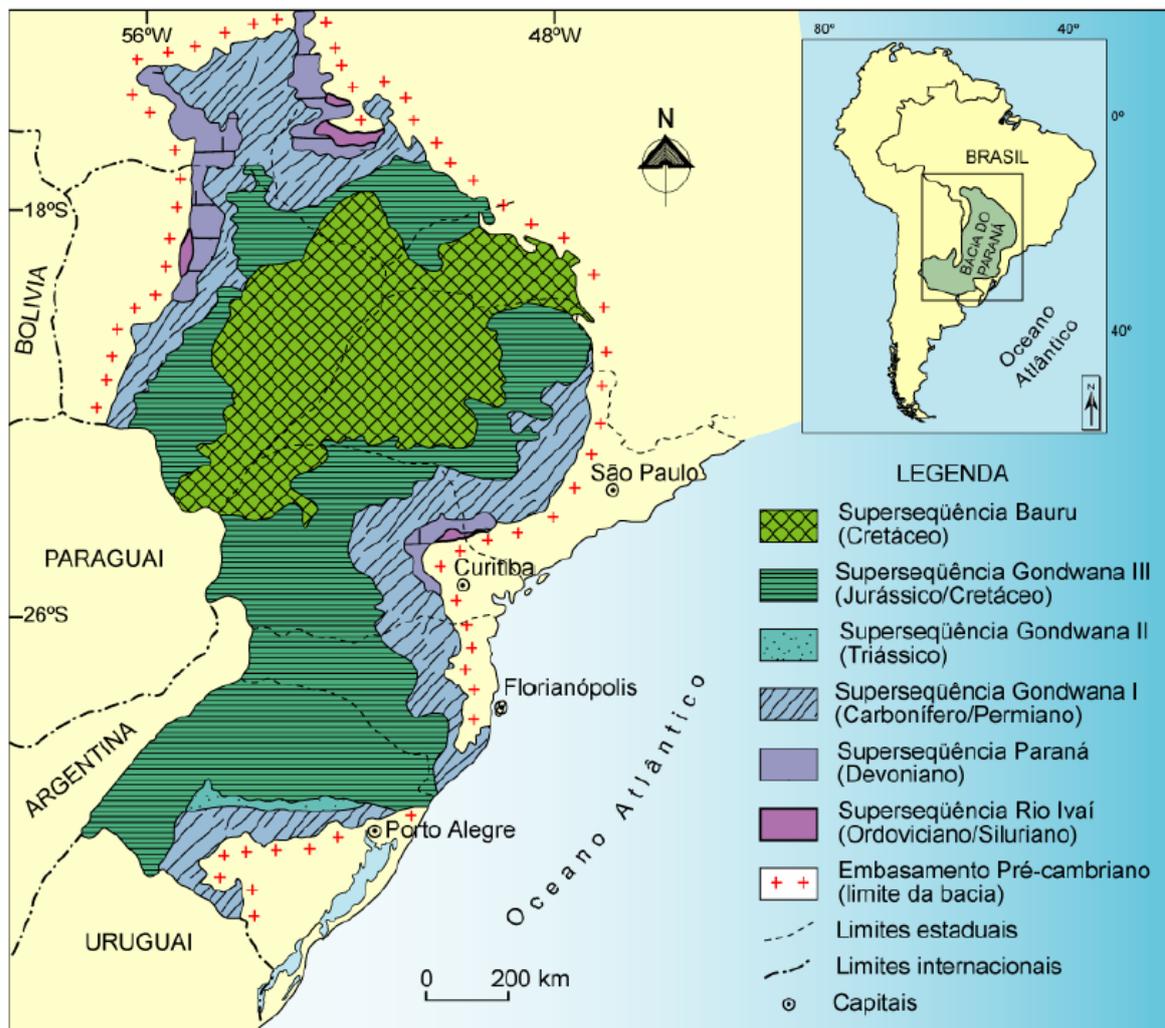


Figura 7 - Área da Bacia do Paraná e distribuição das Supersequências (CPRM, 2007).

Os depósitos sedimentares-magmáticos da supersequência Gondwana III (área de estudo) instalam-se durante o Neojurássico e o Eocretáceo, tendo como característica o acúmulo de extensos campos de dunas, a partir do final do Jurássico, sucedidas pelas rochas magmáticas do Eocretáceo. O magmatismo do Eocretáceo submeteu a crosta a um colossal fraturamento ocasionando o rompimento do megacontinente Gondwana iniciando a evolução do oceano Atlântico (MILANI, 2007).

Após a abertura do Oceano Atlântico, a Plataforma Sul-Americana manteve o caráter ascensional generalizado - iniciado ainda ao tempo da sedimentação Botucatu. No

entanto o acúmulo de quase 2.000 m de espessura de lavas basálticas determinou a inversão deste comportamento ocasionando um novo ajuste isostático na porção litosférica onde agora estão acumulados os derrames Serra Geral (MILANI, 2007).

A Formação Botucatu caracteriza-se por ser um pacote sedimentar de idade juro-cretácea constituído por arenitos finos a grossos, grãos bem arredondados e com alta esfericidade, dispostos em *sets* e/ou *cosets* de estratificação cruzada de grande porte. O ambiente continental neste período envolve depósitos desérticos e depósitos de dunas eólicas (CPRM, 2013).

Contemporâneo à sedimentação da Formação Botucatu ocorre o vulcanismo que originou a Formação Serra Geral. White no início do século XX denominou de Serra Geral a seção padrão de rochas vulcânicas que ocorrem na Serra Geral (MANIERI, 2010).

Esta formação é composta por derrames de basalto, basalto andesitos, riocácitos e riolitos, de filiação toleítica (afinidade química) que se intercalam com arenitos intertrápicos da Formação Botucatu na base e litarenitos e sedimentos vulcanogênicos da porção mediana ao topo da sequência.

A Formação Serra Geral, possui diversas Fácies², descritas a seguir: A Fácies Jaguarão é composta por derrames de composição intermediária a félsica, com textura vitrofírica, contendo abundantes xenólitos de granitóides, fortemente reabsorvidos (MILANI, 2007).

A Fácies Alegrete é composta por derrames de composição intermediária a ácida variando entre andesitos e riocácitos, microgranulares, melanocráticos³, aspecto sacaróide, frequentemente apresentam texturas de fluxo e autobrechas no topo e na base dos derrames (127,6 ± 1,2 Ma datação pelo sistema isotópico).

A Fácies Esmeralda é definida como derrames basálticos, microgranulares, textura microgranular, predominantemente escuros, com a presença comum vesículas mili a centimétricas e com opala preta e água, eventual presença de Cu nativo, alteração amarelo ovo (jarosita) característica.

² Fácies, segundo o glossário geológico da CPRM é uma designação genérica que significa a existência de variações entre diferentes conjuntos de rochas e que podem ser relativas à composição química, ao tamanho dos minerais, condições de temperatura e pressão, estruturação dos depósitos sedimentares ou vulcânicos, ou ambientes de sedimentação. Também é utilizada para designar variações de condições metamórficas, variação sedimentológicas vertical e horizontal, bem como variações composicionais e texturais das rochas ígneas, metamórficas e sedimentares (CPRM, 2013).

³ Melanocráticos segundo o glossário geológico da Mineropar trata-se de um termo relativo a rochas ígneas de coloração escura, que contém pelo menos 60% de minerais máficos. Ex: dunito. (Mineropar, 2013)

A Fácies Paranapanema é composta por derrames basálticos granulares finos, melanocráticos, contendo horizontes vesiculares espessos preenchidos por quartzo (ametista), zeolitas, carbonatos, seladonita, Cu nativo e barita, compreende a maior concentração das jazidas de ametista do estado ($136,2 \pm 2$ Ma datação pelo sistema isotópico).

A Fácies Caxias é composta por derrames de composição intermediária a ácida, riolíticos a riolitos, mesocráticos, microgranulares a vitrofíricos, com textura esferulítica comum (tipo carijó), forte disjunção tabular no topo dos derrames e maciço na porção central. Dobras de fluxo e autobrechas são frequentes, vesículas preenchidas predominantemente por calcedônia e ágata, fonte das mineralizações da região ($132,3 \pm 0,5$ Ma datação pelo sistema isotópico).

A Fácies Chapecó é composta por derrames ácidos variando entre riolíticos a riolitos, matriz vitrofírica contendo pórfiros ($132,1 \pm 0,19$ Ma datação pelo sistema isotópico). A Fácies Gramado é composta por derrames basálticos granulares finos a médio, melanocráticos cinza, horizontes vesiculares preenchidos por zeolitas, carbonatos, apofilitas e saponita, estrutura de fluxo e pahoehe comuns, intercalações com os arenitos Botucatu ($132,4 \pm 1,4$ Ar-Ar). (MILANI, 2007).

A Fácies Várzea do Cedro se caracteriza por derrames vitrofíricos pretos tipo pichstone, texturas de fluxo e autobrechas frequentes, fino fraturamento perlítico⁴.

Na Bacia Hidrográfica do Rio Paranhana a Formação Serra Geral está subdividida em rochas básicas intermediárias (Ksgbl) e ácidas (Ksgal) sendo que, a primeira é encontrada distribuída uniformemente por toda a bacia atingindo todos os municípios. As vulcânicas ácidas são encontradas no rebordo do planalto nas bordas norte e nordeste da bacia encobrindo os municípios de Canela, Gramado e São Francisco de Paula.

Como consequência da história evolutiva da Formação Serra Geral a sequência de derrames e suas variáveis mineralógicas (Fácies) proporcionaram uma configuração escalonada nas encostas do planalto onde estão inseridas as vertentes e vales esculpidos na região.

3.3 VULNERABILIDADE AMBIENTAL

⁴ O fraturamento perlítico caracteriza-se por um padrão de microfaturas suavemente curvadas, com dimensões inferiores 1, 2 mm, com núcleos vítreos aparentemente intactos. A origem desta feição é atribuída à hidratação do vidro, determinando uma expansão de volume durante os estágios finais do posicionamento dos derrames ou mesmo após o resfriamento destes (Allen 1988).

As dimensões continentais do Brasil permitem presenciar uma vasta diversidade do meio físico, condicionada por uma grande complexidade geológica e estrutural, que resulta em uma marcante diversidade morfológica. A variabilidade de características geológico-geotécnicas dos solos e rochas torna-se evidente quando se busca uma análise integrada dos tipos de processos predominantes em cada região visando um planejamento ambiental.

Frente a isto, Santos (2007) coloca que, quando provocamos uma perturbação no ambiente à resposta do meio pode ser bastante diferente em função das características locais naturais e humanas, ou seja, cada fração de território tem uma condição intrínseca que, em interagir com o tipo e magnitude do evento que induzimos, resulta em efeitos adversos. A essa condição chamamos de vulnerabilidade.

Outros autores conceituam o termo vulnerabilidade como uma condição determinada por fatores ou processos físicos, ambientais, sociais e econômicos, que expõe uma comunidade ao risco (UN-ISDR, 2004). Marcelino (2006) coloca que o mapeamento das áreas vulneráveis se configura como um importante instrumento na análise de risco, uma vez que, baseado nesse mapa, o poder público pode tomar uma série de medidas preventivas, como a implantação de obras de engenharia e planejamento do uso da terra, com o objetivo de evitar ou minimizar os danos decorrentes de desastres naturais.

Segundo Tominaga (2007), a vulnerabilidade refere-se a uma condição determinada pelas condições sociais, econômicas, físicas e ambientais de uma comunidade frente ao impacto de um evento natural. Para Ayala (2002), a presença dos seres humanos transformou os eventos geofísicos em desastres naturais. Para ele, o risco proporcionado pelos desastres naturais não se deve apenas à vulnerabilidade natural, mas também à vulnerabilidade humana. Moura (2011) acredita que a noção de vulnerabilidade é relativa e normalmente está relacionada à exposição das pessoas a um determinado risco, que depende da suscetibilidade de uma área a algum desastre.

Para Blahut (2010), a análise de vulnerabilidade é um importante indicador que depende de muitos fatores, entre eles o desenvolvimento econômico e social da região afetada, que poderá determinar como aquela sociedade irá lidar com o evento.

Diante destes conceitos acerca de vulnerabilidade, essa pesquisa será norteadada pelo conceito de vulnerabilidade natural, onde serão levados em consideração o fator geológico (lito-faciológico) e geomorfológico, ambos, processados pelo método de álgebra de mapas

conforme explanado no item 4.3 deste trabalho visando estabelecer graus de vulnerabilidade da BHRP.

3.4 DESASTRES NATURAIS

As variações climáticas recentes chamam a atenção para as instabilidades da natureza. Onde a configuração da paisagem se transforma de acordo com as características dos atributos naturais (pedologia, solos, rocha, vegetação) de uma determinada região. Estas instabilidades tornam-se desastres quando ocupações urbanas exercem pressão sobre o ambiente vulnerável.

Segundo a defesa civil, o termo desastres naturais é conceituado como sendo “resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem, sobre um ecossistema (vulnerável), causando danos humanos, materiais e/ou ambientais e consequentes prejuízos econômicos e sociais. A intensidade de um desastre natural depende da magnitude do evento adverso e o grau de vulnerabilidade do sistema receptor afetado” (CASTRO, 1999).

Saito (2013) conceitua desastre natural como resultado do impacto de um fenômeno natural extremo ou intenso sobre um sistema social, e que causa sérios danos e prejuízos que excedam a capacidade dos afetados em conviver com o impacto.

Para Kobiyama (2006) inundações, escorregamentos, secas, furacões, são fenômenos naturais severos, fortemente influenciados pelas características regionais como rocha, solo, topografia, vegetação e condições meteorológicas. Quando estes fenômenos ocorrem em locais onde seres humanos vivem resultando em danos (materiais e humanos) e prejuízos (socioeconômicos) são considerados desastres naturais.

Desastres naturais ocorrem a partir da vulnerabilidade do ambiente natural, onde de acordo com Kobiyama, ações antrópicas agravantes potencializam os danos. A seguir, a tabela 1 apresenta relações entre os agravantes humanos e os consequentes desastres.

Tabela 1 - Relação entre agravantes humanos e desastres consequentes (KOBİYAMA, 2006).

Agravantes humanos	Desastres consequentes
Emissão de gases nocivos	Chuvas ácidas
Retirada da mata ciliar e assoreamento dos rios	Inundações

Impermeabilização do solo (concreto, asfalto...)	Inundações bruscas
Ocupação desordenada de encostas íngremes	Escorregamentos

Na área de estudo, BHRP, em função de o relevo ser caracteristicamente escarpado, formado por vertentes escalonadas com declividades variadas, os processos de intemperismo, erosão, movimentos de massa e inundações bruscas, ocasionam mudanças nas formas das encostas.

Tem-se nos movimentos de massa os mais importantes processos geomórficos modeladores da superfície terrestre, onde o material (solo e rocha) se desloca vertente abaixo sob a influência da gravidade, sendo desencadeados pela interferência de outros agentes independentes como água, gelo ou ar (BIGARELLA, 2003).

Na Bacia Hidrográfica do Rio Paranhana, na cabeceira (ao norte) pontuam-se movimentos de massa vinculados aos condicionantes naturais (relevo, variação litológica, declividade, solo e variação climática). No setor centro sul, os condicionantes dos movimentos de massa vinculam-se ao uso e ocupação do solo, bem como a crescente urbanização do vale. Nesta localidade, é frequente a ocupação em encostas íngremes construídas sem procedimentos técnicos adequados os quais tornam a moradia compatível com o meio (RIFFEL, 2012).

3.5 PROJETO SRTM

As pesquisas geológico-geomorfológicas necessitam como base, os dados geomorfométricos (extraídos de Modelos Digitais de Terreno, orientação de vertentes, declividade, curvatura horizontal e vertical) de uma determinada área. Porém, as técnicas convencionais de mapeamento topográfico produziram mapas de qualidade desigual, alguns com alta precisão outros não tão adequados, sem contar o problema da incompatibilidade de escalas usadas.

O projeto SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) uma parceria entre a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) NIMA (*National Imagery and Mapping*

Agency), DLR (Agência Espacial Alemã) e ASI (Agência Espacial Italiana) foi a concretização de missões para definir a altimetria da área emersa da Terra. No ano 2000 nos dias 11 e 12 de fevereiro foram percorridas 176 órbitas entre as latitudes 60° e 56°N-S cobrindo cerca de 80 % do planeta Terra (Valeriano, 2004). O processamento destes dados gerou um modelo digital de elevação (MDE) de resolução espacial de 90 x 90m.

Visando um refinamento destes dados para o território brasileiro o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE - pelo método de Krigagem redefiniu os dados originais SRTM para resolução espacial de 30 m x 30 m. Estes dados são disponibilizados gratuitamente pelo INPE e auxiliam no levantamento de informações morfométricas. Segundo Valeriano (2009) foi selecionado um conjunto de segmentos do MDE de dados SRTM para testes de avaliação dos modelos de interpolação (figura 8).

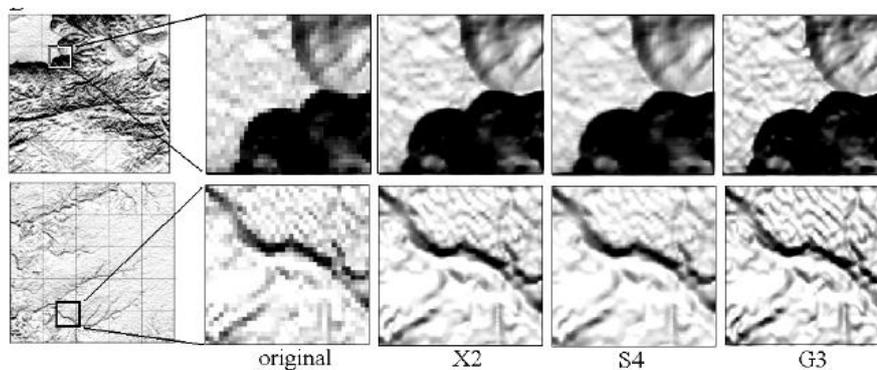


Figura 8 - Áreas selecionadas para teste de modelos de interpolação. As imagens originais correspondem à imagem SRTM e as G3 são as imagens processadas pelo projeto Topodata. Fonte: Valeriano (2009).

Desta forma os dados geomorfométricos Topodata mostram-se mais adequados ao estudo de bacias hidrográficas como é o caso do presente trabalho, pois estes apresentam um nível maior de detalhamento morfométrico o que leva a elaboração de dados de maior complexidade do relevo como a descrição geomorfológica.

CAPÍTULO IV – MATERIAS E MÉTODOS

4.1 METODOLOGIA PARA RECONHECIMENTO GEOLÓGICO

A caracterização geológica da bacia hidrográfica do Rio Paranhana foi realizada em seis etapas de trabalho. Na primeira etapa fez-se uma revisão bibliográfica acerca das rochas da Bacia do Paraná visando identificar e compreender as principais unidades geológicas que compõe a área de estudo.

Na segunda etapa de trabalho foram selecionados mapas geológicos ancestrais (Folha Gravataí-litologia, escala 1:250.000 – IBGE), cartas DSG de base (Taquara, Três Coroas, Gramado, Canela e São Francisco de Paula, escala 1:50.000). Para reconhecer as

principais estruturas regionais e feições geomorfológicas, selecionou-se a Folha 29s51 dos dados *SRTM/TOPODATA*, para extrair as variáveis geomorfométricas. No caso do reconhecimento geológico o sombreamento de relevo (folha 29s51_RS – Topodata) permitiu traçar os lineamentos estruturais na BHRP.

Na terceira etapa foram realizadas três campanhas de obtenção de dados de campo, totalizando o cadastro de oitenta e quatro afloramentos descritos e distribuídos de modo aleatório pela BHRP (figura 9). O trabalho de campo destinou-se inicialmente ao reconhecimento da área de estudo e à aferição dos dados obtidos nesta fase pré-campo, como por exemplo, o reconhecimento da rede hidrográfica e das estradas além da identificação dos padrões de formas do relevo e mudanças na litologia. Em outras campanhas de trabalho em campo, as atividades foram destinadas a estudos de caráter geológico, onde com base no reconhecimento da área e nos mapas base, foram percorridas as estradas analisando os afloramentos distribuídos na área de estudo.

Para descrição, amostragem e obtenção de dados litológicos e de estruturas das rochas, em cada afloramento foram utilizados os materiais de campo como fotografias e anotação de coordenadas obtidas pelo sistema GPS (*Global Position System*) modelo *Garmin Etrex H*, na projeção cartográfica UTM. Em cada afloramento foram analisadas as seguintes características: o tipo de rocha; as estruturas; os padrões de intemperismo; as zonas potenciais de instabilidade e presença de fluxo de água.

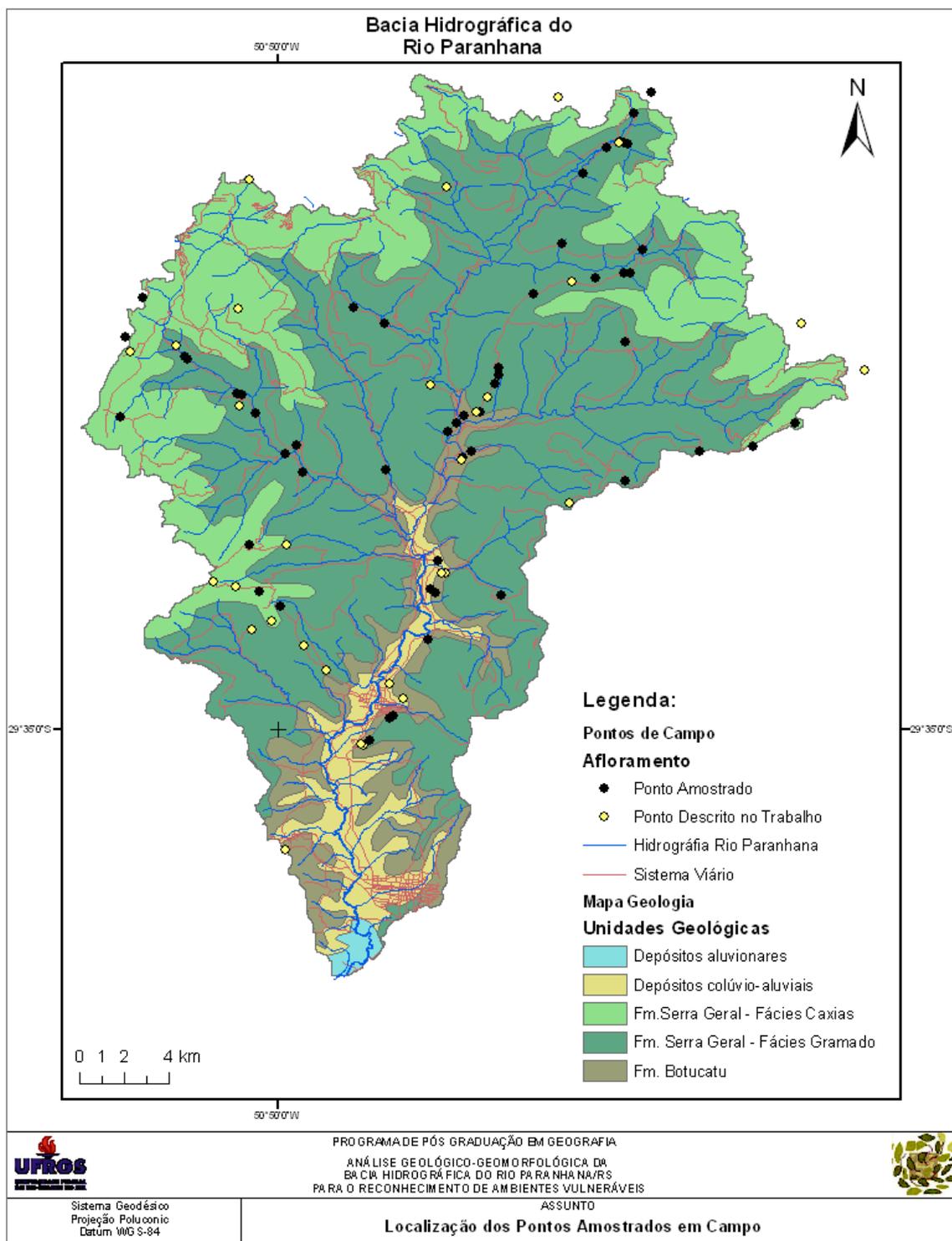


Figura 9 - Mapa de localização dos afloramentos visitados em campos na Bacia Hidrográfica do Rio Paranhana.

De modo a descrever as rochas adaptou-se a classificação (tabela 2) de Figueiró (1997) para padronizar as rochas de cada afloramento registrado em campo.

Tabela 2 - Nomenclatura para classificação de rochas aplicada a geotecnia. (Adaptado de FIGUEIRÓ, 1997).

ID	TIPO DE ROCHA
R1s	Rocha resistente pouco fraturada (Sedimentar)
R1v	Rocha resistente pouco fraturada (Vulcânica)
R2	Rocha resistente muito fraturada
R3	Rocha hidrotermalizada amigdalóide
R4	Brecha vulcânica
R5	Vitrófiro
R6	Rocha fraca muito alterada
R7	Rocha com estrutura de fluxo

Na quarta etapa do trabalho, pós-campo, seis amostras foram selecionadas para laminação, com o objetivo de apresentar as diferentes texturas das rochas presentes na BHRP sob aspecto microscópico. O critério para escolha das amostras para laminação levou em consideração a localização geográfica (pontos distribuídos uniformemente na bacia) e as principais unidades de rocha presentes na área.

No processo de laminação as rochas foram cortadas em tabletes de aproximadamente 5 x 3 x 1 cm, e foram coladas em lâmina de vidro com resina epóxi. Seguindo o procedimento, a amostra foi cortada e desbastada até que a espessura da rocha fosse à desejada (cerca de 30 micrometros). O polimento com pasta de diamante foi realizado na sequência. No final do procedimento, realizado no Laboratório de Laminação do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS obteve-se uma lâmina delgada onde é possível descrever e identificar os minerais presentes além do arranjo petrográfico em cada rocha analisada.

As análises petrográficas foram realizadas buscando identificar os minerais e as texturas, bem como diferenciar a susceptibilidade das rochas ao intemperismo, pois os processos de dissecação, em qualquer clima, são influenciados pela composição química

e/ou mineralógica do substrato geológico. A tabela 3, apresenta alguns dos termos utilizados na descrição petrográfica.

Tabela 3 - Termos técnicos utilizados em descrições petrográficas. Modificado de Nummer (2003).

Termo utilizado	Descrição
Afanítica	Rocha de granulação fina cujos minerais não podem ser identificados em análise.
Fanerítica	Rocha de granulação fina a média, cujos minerais podem ser identificados em análise macroscópica.
Afírica	Rocha com minerais de tamanho homogêneo ou com variação continua num estrito intervalo granulométrico.
Porfirítica	Rocha que contém fenocristais reconhecíveis em análise macroscópica.
Máfica	Minerais ferromagnesianos, de cor escura, constituintes de rochas ígneas.
Félsica	Minerais, magmas de rochas que contém porcentagens relativamente baixas em elementos pesados e, conseqüentemente, mostram-se enriquecidos em elementos leves tais como silício, oxigênio, alumínio e potássio. Os minerais félsicos são comumente claros e possuem peso específico inferior a 3, sendo os mais comuns o quartzo, a muscovita e o ortoclásio.
Micropórfira	Rocha que contém fenocristais não reconhecíveis em análise macroscópica (microfenocristais)
Intersertal	Textura caracterizada pela presença de vidro residual ocupando os espaços intercrystalinos.
Hialocristalina	Rocha que possui vidro como principal fase e cristais em menor volume.

Perlítica	Feição representada por microfraturas conchoidais em material vítreo.
------------------	---

Na sexta etapa foi analisada a vulnerabilidade das rochas com base no quadro 1 proposta por Crepani (2001). As litologias recebem valores de 1 (estável) a 3 (instável). Estes pesos foram adaptados à realidade dos pontos visitados em campo.

Quadro 1 – Escala de vulnerabilidade à denudação das rochas mais comuns. (CREPANNI, 2001).

Escala de vulnerabilidade à denudação das rochas mais comuns					
Quartzitos ou metaquartzitos	1,0	Milonitos, Quartzo muscovita, Biotita, Clorita xisto	1,7	Arenitos quartzosos ou ortoquartzitos	2,4
Riólito, Granito, Dacito	1,1	Piroxenito, Anfibolito Kimberlito, Dunito	1,8	Conglomerados, Subgrauvacas	2,5
Granodiorito, Quartzo Diorito, Granulitos	1,2	Hornblenda, Tremolita, Actinolita xisto	1,9	Grauvacas, Arcózios	2,6
Migmatitos, Gnaisses	1,3	Estaurolita xisto, Xistos granatíferos	2,0	Siltitos, Argilitos	2,7
Fonólito, Nefelina Sienito, Traquito, Sienito	1,4	Filito, Metassilito	2,1	Folhelhos	2,8
Andesito, Diorito, Basalto	1,5	Ardósia, Metargilito	2,2	Calcários, Dolomitos, Margas, Evaporitos	2,9
Anortosito, Gabro, Peridotito	1,6	Mármore	2,3	Sedimentos Inconsolidados: Aluviões, Colúvios etc.	3,0

A partir desta classificação gerou-se o mapa de vulnerabilidade geológica da BHRP.

4.2 METODOLOGIA DE RECONHECIMENTO GEOMORFOLÓGICO

O reconhecimento geomorfológico da BHRP foi organizado em três etapas. Na primeira etapa foram selecionadas referências bibliográficas que tratassem da geomorfologia da área de estudo bem como dos conceitos geomorfológicos. Foram reunidos materiais cartográficos de base, como cartas topográficas 1.50.000 DSG

(Taquara, Três Coras, Gramado, Canela e São Francisco de Paula) e mapa geomorfológico 1:250.000 do IBGE (Folha Gravataí) (2004).

Em uma segunda etapa foram selecionadas as imagens *SRTM/TOPODATA* – INPE (folha 29s51) com resolução espacial de 30 m, de modo a extrair as variáveis geomorfométricas (curvatura vertical e horizontal, declividade) selecionadas para a presente análise do relevo. Estes dados foram baixados online, gratuitamente, do site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

Para o processamento da terceira etapa, foram utilizados os *softwares ENVI 4.5 e ArcGis 9*. As imagens *SRTM* foram recortadas com base na máscara da BHRP e foram classificadas as curvaturas vertical e horizontal em cinco classes com o objetivo de detalhar melhor as formas de relevo. A declividade foi classificada em seis classes seguindo a classificação de Marques (1999) que utiliza o termo escarpa adequando-se a realidade da área de estudo.

A seguir estão detalhadas as classificações de cada variável geomorfométrica utilizada no presente estudo.

4.2.1 DECLIVIDADE

A declividade é um dos principais parâmetros de análise do relevo, neste trabalho, tendo em vista a sua estreita associação com processos de transporte gravitacional. A declividade é definida como ângulo de inclinação (zenital) da superfície do terreno em relação à horizontal. Seus valores podem variar numericamente de 0° a 90°, ainda que seja mais comumente expressa em porcentagem, de zero ao infinito (INPE, 2008). Também pode ser classificada de acordo com as classes de relevo. Os dados *TOPODATA* são disponibilizados em três classificações: a de Marques (1971) que classifica a declividade em quatro classes (Suave, Ondulado, Forte e Muito Forte); a de LEPSCH (1991) que classifica em sete classes (A, B, C, D, E, F, G); e a classificação de Marques (1999) que classifica a declividade em seis classes (Plano, Suave Ondulado, Ondulado, Forte Ondulado, Montanhoso e Escarpado).

Para a presente análise do relevo optou-se pela classificação de Marques (1999) visto que o relevo da região é escalonado com linhas escarpadas bem definidas na encosta do planalto meridional. A imagem selecionada foi a 29s51_SC e o processamento foi realizado no software *ArcGis 9.2*. Foram extraídos os valores máximos e mínimos e foram gerados os gradientes com as classes pré-estabelecidas.

Seguindo a metodologia de vulnerabilidade de Crepani (2001), na qual se pondera cada legenda de acordo com o grau de vulnerabilidade atribuindo valores de 1 (estável) a 3 (instável) foi gerada a tabela 4 a seguir, considerando a realidade da Bacia Hidrográfica do Rio Paranhana.

Tabela 4 - Valores de Vulnerabilidade para a declividade na Bacia Hidrográfica do Rio Paranhana. (Adaptado de CREPANI, 2001).

Declividade	Vulnerabilidade/Estabilidade
Plano	1,0
Suave Ondulado	1,2
Ondulado	1,4
Forte Ondulado	2,0
Montanhoso	2,5
Escarpado	3,0

4.2.2 CURVATURA VERTICAL

Como segunda derivada da altitude, a curvatura vertical é importante na análise do relevo tendo em vista como ocorre a variação da declividade ao longo de uma determinada distância (INPE, 2008). Frente a isto, a curvatura vertical expressa o formato da vertente visto em perfil.

O cálculo da curvatura em SIG é baseado na comparação entre diferenciais altimétricos recíprocos ao ponto (pixel). Estas curvaturas se caracterizam por apresentar valores numéricos positivos ou negativos, dependendo da condição local, se côncava ou convexa. As curvaturas nulas significam que a forma da vertente é retilínea (INPE, 2008).

Para a análise do relevo neste estudo optou-se por utilizar a curvatura vertical disponibilizada no banco de dados geomorfométricos do Brasil (TOPODATA) e também a declividade com uma resolução espacial de 30m. A imagem selecionada foi a 29s51_V5 com cinco classes de modo a detalhar as vertentes.

A transformação da curvatura calculada em classes (convexo, côncavo e retilíneo) é realizada através do fatiamento ou reclassificação dos valores obtidos. Estes devem

corresponder a terrenos convexos (positivos) a terrenos côncavos (negativos) enquanto valores nulos indicam vertentes retilíneas (INPE, 2008).

As classes analisadas da curvatura vertical são: Muito Côncava; Côncava, Retilíneo, Convexa e Muito Convexa. Seguindo a metodologia de análise da vulnerabilidade de Crepani (2001) a tabela 5 leva em consideração o grau de vulnerabilidade/estabilidade para ponderar as curvaturas verticais na BHRP.

Tabela 5 - Valores de vulnerabilidade para a curvatura vertical na Bacia Hidrográfica do Rio Paranhana. (Adaptado de CREPANI, 2001).

Curvatura Vertical	Vulnerabilidade/ Estabilidade
Muito Côncava	2,5
Côncava	2,0
Retilíneo	1,0
Convexa	1,5
Muito Convexa	3,0

4.2.3 CURVATURA HORIZONTAL

A curvatura horizontal é considerada a derivada de segunda ordem das curvas de nível, visto que expressa o formato da vertente quando observado na projeção horizontal. Esta variável também é importante na análise de vulnerabilidade, pois somada à curvatura vertical possibilita delimitar as formas de relevo de um dado local, no caso da Bacia Hidrográfica do Rio Paranhana.

A importância da curvatura horizontal se deve à análise dos processos de migração e acúmulo de sedimentos em corpos d'água através das superfícies. Analogicamente esta curvatura desempenha papel importante entre os processos de morfogênese e pedogênese. Para os processamentos aplicou-se aos dados SRTM/TOPODATA com sinal positivo para divergência, negativo para convergência e nulo para planar (INPE, 2008).

A imagem utilizada do TOPODATA foi a 29s51_H5 sendo a curvatura horizontal classificada em: Muito Convergente; Convergente; Planar; Divergente; Muito Divergente. Seguindo a metodologia de análise da vulnerabilidade de Crepani (2001) a tabela 6 leva em consideração o grau de vulnerabilidade/estabilidade visando ponderar as curvaturas horizontais considerando a realidade da BHRP.

Tabela 6 - Valores de vulnerabilidade para a curvatura horizontal na Bacia Hidrográfica do Rio Paranhana. (Adaptado de CREPANI, 2001).

Curvatura Horizontal	Vulnerabilidade/ Estabilidade
Muito Convergente	1,0
Convergente	2,0
Planar	2,0
Divergente	3,0
Muito Divergente	2,5

4.3 METODOLOGIA DE ÁLGEBRA DE MAPAS

De maneira a integrar os dados de geologia e geomorfologia foi utilizada a álgebra de mapas a partir de análise multicritério, de forma a combinar as informações adquiridas na BHRP. O método de álgebra de mapas permite a aplicação de operações aritméticas para associar várias camadas de informação permitindo agrupar e classificar áreas que apresentem vulnerabilidade ambiental.

O procedimento de álgebra de mapas foi utilizado duas vezes, primeiro para integrar os dados de geomorfologia (declividade, curvatura vertical e horizontal) e posteriormente para integrar a geomorfologia à geologia.

Para reclassificar as variáveis a serem trabalhadas, no software *ArcGis* 9.3, foram inseridos os *shapefiles* de geologia e de geomorfologia. Para cada arquivo vetorial criou-se um arquivo *raster* no *ArcToolbox* > *Conversion tools*.

Em uma segunda etapa os dados de geologia foram ponderados com base na escala de vulnerabilidade à denudação das rochas (Crepani, 2001) e na classificação de tipos de rochas de Figueiró (1997). Os dados de geomorfologia foram ponderados de acordo com as tabelas, 5, 6 e 7. Todos os valores foram propostos por Crepani (2001) e adaptados a realidade da Bacia Hidrográfica do Rio Paranhana.

A terceira etapa em *Spatial Analyst* > *Reclasssify* reclassificou os valores dos componentes de cada legenda já no formato *raster*. De modo a combinar as variáveis, em uma quarta etapa utilizou-se o *Raster Calculator* do *ArcMap* gerando a espacialização de áreas geológico-geomorfológica vulneráveis da bacia hidrográfica do Rio Paranhana.

CAPÍTULO V – RESULTADOS

5.1 GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO

O reconhecimento geológico básico descrito no presente capítulo teve por objetivo a identificação de zonas vulneráveis a movimentos de massa na bacia hidrográfica do Rio Paranhana que, em termos geológicos está inserida na porção sul da Bacia do Paraná e é composta por litologias que correspondem a supersequência Gondwana III, abrangendo as Formações Botucatu (sedimentar) e Serra Geral (ígneas) (CPRM, 2000).

A Formação Botucatu situada no centro-sul da BHRP é caracterizada por um espesso pacote de arenitos avermelhados, finos a médios, bem selecionados, bimodais com abundantes estratificações cruzadas tangencial de grande porte e plano-paralela, geradas por processos eólicos em ambiente desértico continental (CPRM, 2000).

No estado do Rio Grande do Sul, Scherer (1998, 2000) identificou três associações faciológicas da Formação Botucatu (AF1, AF2 e AF3). A associação faciológica AF1 é composta por arenitos grossos a conglomeráticos, interpretados como depósitos de lençóis de areia e fluxos torrenciais. As associações faciológicas 2 e 3 são compostas por campos de dunas eólicas.

No centro da BHRP encontram-se arenitos da Formação Botucatu interdigitados com rochas basálticas da Formação Serra Geral. Na área de estudos é possível encontrar litologias de duas fácies desta formação, as Fácies Gramado e Caxias.

As rochas da Fácies Gramado localizam-se no centro da bacia e ocorrem entre as cotas de 100 a 500 metros, correspondendo ao vulcanismo básico da Formação Serra Geral. O vulcanismo básico na área de estudo é constituído essencialmente por basaltos. Segundo Roisenberg (2000) a espessura desta unidade varia de acordo com o paleorelevo, tendo sido registrado uma espessura de poucos metros nos altos topográficos até 50 metros nos paleovales. A mineralogia das rochas da Fácies Gramado são afíricas e subafíricas com conteúdo de fenocristais inferior a 5%. Seus principais minerais são plagioclásio, piroxênios e magnetita.

As rochas da Fácies Caxias correspondem a litologias intermediárias à ácidas, localizando-se na metade norte BHRP, atingindo cotas de 500 a 950 metros e contendo intercalações de níveis vítreos nas cotas entre 850 a 980 m (CPRM, 2000). As rochas vulcânicas como riolitos e riodacitos mesocráticos, microgranulares a vitrofíricos são

encontrados na borda norte da BHRP, próximos aos municípios de Gramado, São Francisco de Paula e Canela. Como característica importante os derrames ácidos apresentam disjunção tabular e colunar e geram relevos acentuados.

5.1.2 CARACTERÍSTICAS DAS ZONAS DE CONTATO LITOLÓGICO

As zonas de contato entre litologias costumam ser zonas vulneráveis ambientalmente devido à mudança do tipo de rocha e à mudança faciológica. Na bacia hidrográfica do Rio Paranhana, os contatos amostrados entre as Formações Botucatu e Serra Geral ocorrem entre as cotas 100 m e 180 m apresentando-se concordante na base do primeiro derrame vulcânico.

A Formação Botucatu composta por arenitos bem consolidados com estratificação cruzada de grande porte possuem granulometria fina a média, com grãos de quartzo esféricos e alta angulosidade, contendo baixas proporções de feldspatos (< 3 %), por vezes silicificados (o que lhes atribui maior resistência) e por vezes cimentados com óxido de ferro (PENTEADO, 2011). Por sua vez, a Formação Serra Geral se constitui por basaltos, basaltos-andesitos de filiação toleítica com textura afanítica a fanerítica fina e apresenta fenocristais de plagioclásio, augita, pigeonita, ilmenita e rara olivina pseudomorfizada para argilas. Estes fenocristais apresentam orientação segundo estruturas de fluxo (NUMMER, 2003). Também compõe a Formação Serra Geral, na área de estudo, os riolitos e riolitos aflorantes no norte da BHRP. Estas rochas se apresentam, segundo Nardy (2008), com coloração cinza clara, às vezes adquirindo tonalidade “sal-e-pimenta”. Apresentam estruturas de resfriamento rápido como as disjunções colunares. As zonas de contato são identificadas no relevo da BHRP. De norte para sul as vertentes apresentam-se escalonadas em função da sequência de derrames que diferem faciologicamente. Cada derrame tem como estrutura, da base para o topo, zona amigdalóide, zona de disjunção horizontal, zona de disjunção vertical, rocha maciça, zona de disjunção horizontal e novamente zona amigdalóide.

No centro-sul da bacia o contato entre as Fm. Serra Geral e Fm. Botucatu também pode ser identificado em função da diferenciação do relevo de escarpado com vertentes escalonadas (Fm. Serra Geral) para relevo de morros médios e colinas (Fm. Botucatu).

Algumas estruturas internas descritas de um derrame (zonas amigdalóides e de disjunções) facilitam a percolação de fluidos que, ao interagirem quimicamente, alteram a

resistência do material, de acordo com a composição mineralógica, textura e estrutura da rocha, potencializando a vulnerabilidade do ambiente.

5.1.3 ASPECTOS DE CAMPO

Em trabalho de campo foram visitados 84 afloramentos identificados conforme sua posição dentro do perfil geológico (figura 10) de modo a facilitar a compreensão posicional dos eventos sedimentares e vulcânicos. Dos 84 pontos visitados 27 serão descritos na sequencia sendo seis descritos com lâminas petrográficas, considerando os mais representativos para o presente trabalho. Os demais pontos encontram-se listados no anexo 3. Esses pontos estão em coordenadas UTM fuso 22 WGS 84. Seis (70, 71, 81, 82, 83, 84) dos 84 pontos encontram-se fora do limite da BHRP, pois um dos critérios na escolha dos pontos foi o acesso, e estes se encontram nas estradas que ligam os municípios de São Francisco de Paula, Canela e Gramado.

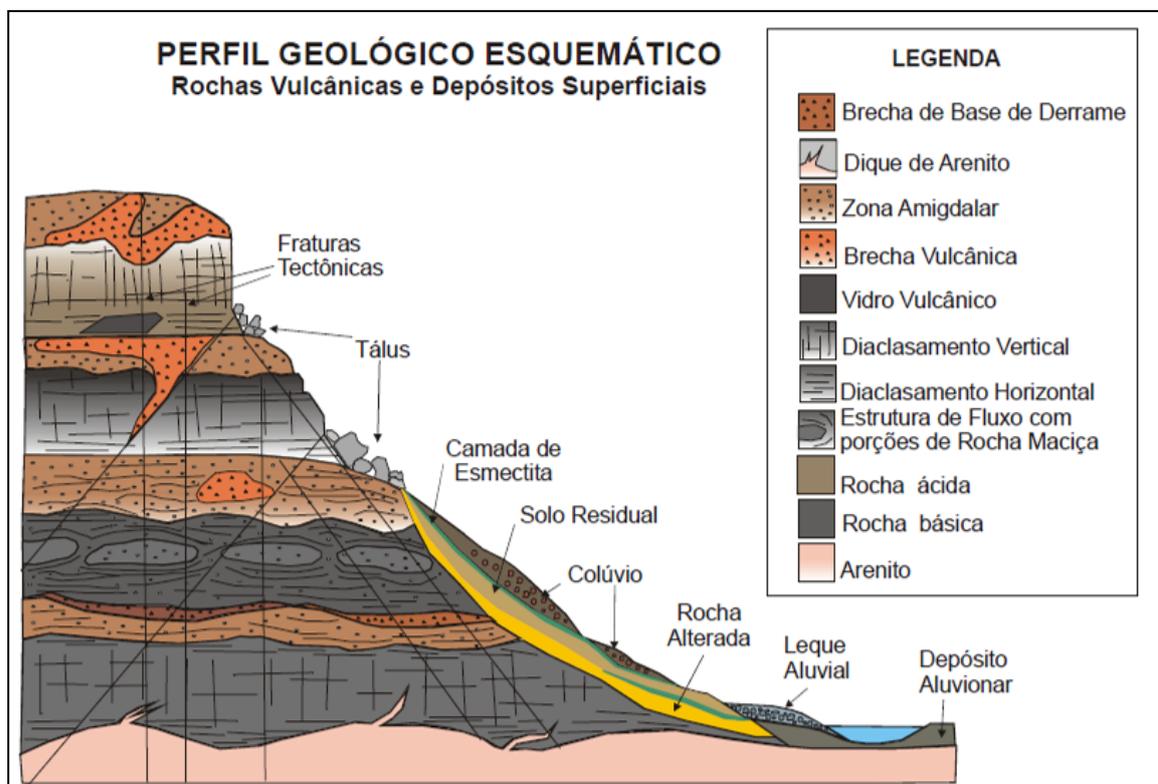


Figura 10 - Perfil Geológico Esquemático: a estratigrafia de um derrame. (NUMMER, 2003).

Ponto 1: (22J 516402 E – 6721889 N). O afloramento possui cerca de 80 m de comprimento e 8 m de altura configurando-se como um corte de estrada na ERS-239 (figura 11), próximo a foz do Rio Paranhana no município de Taquara-RS. O afloramento caracteriza-se por ser uma paleoduna da Formação Botucatu. A amostra PP 01 possui coloração rosada, com tamanho dos grãos de areia variam de fino a grosso. No afloramento é possível identificar estratificação cruzada de grande porte, característica da Formação Botucatu. Tendo em vista a classificação de tipos de rocha utilizada no presente trabalho, este afloramento caracteriza-se como R1s (rocha resistente pouco fraturada_sedimentar).



Figura 11 - Paleoduna, afloramento da Fm. Botucatu, em corte de estrada, no município de Taquara-RS.

Ponto 2: (22J 519460 E – 6726626 N). O afloramento configura-se como uma pedreira de basalto, próximo a ERS-115 no município de Igrejinha – RS (figura 12 a). A amostra PP 02 possui coloração cinza, com textura afanítica. Apresenta diaclasamento horizontal por alívio de pressão. Dentro da classificação de tipos de rocha utilizada no presente trabalho, este afloramento caracteriza-se como R2 (rocha resistente muito fraturada).

Descrição petrográfica: Amostra (figura 12 b) retirada da porção maciça do afloramento é composta mineralogicamente por: 70% plagioclásio; 25% piroxênio; 2,5% opacos e 2,5% resíduos sub-vítreos. Os minerais de piroxênios e plagioclásios são menores que 2 mm e apresentam-se anédricos-subédricos. Os fenocristais de plagioclásio e piroxênio compõem cerca de 2% da amostra. A textura predominante é ofítica (intercrescimento de plagioclásio).

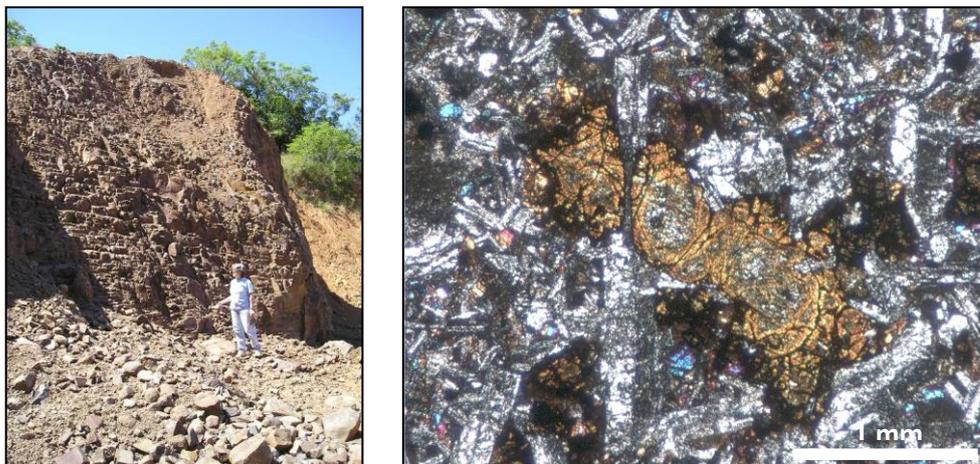


Figura 12 a) Afloramento da Fm. Serra Geral. Apresenta-se muito fraturado e situa-se em zona de contato com a Fm. Botucatu no município de Igrejinha - RS.

b) Fotomicrografia de basalto da Fm. Serra Geral mostrando fenocristal de piroxênio.

Ponto 3: (22J 0519331 E– 67266710 N) Pedreira de arenito, localizada no município de Igrejinha - RS (figura 13 a) localizada à 50m abaixo do ponto 2. A amostra PP 03 trata-se de uma rocha sedimentar bem consolidada e maciça com coloração rosada com granulação média a grossa alternando-se em camadas de deposição. Rocha classifica-se como arenito da Formação Botucatu. O tipo de rocha segundo Figueró (1997) insere-se na categoria R1s (Rocha resistente pouco fraturada_sedimentar).

Descrição petrográfica:

Amostra (figura 13 b) retirada da porção maciça do afloramento é composta mineralogicamente por: 85% quartzo; 14% plagioclásio e 1,0% cimento. Os grãos de quartzo são bem selecionados, variam de 2,0 - 0,1 mm apresentando-se em níveis granulométricos de grãos maiores com média esfericidade e alto arredondamento e níveis de grãos menores com baixa esfericidade e baixo arredondamento.



Figura 13 - Afloramento da Fm. Botucatu. Apresenta estratificação cruzada de grande porte bem marcada, zona de contato litológico no município de Igrejinha - RS. B) Fotomicrografia do arenito Botucatu, mostrando níveis de variação granulométrica.

Ponto 7: (22J 0521020 E – 6728744 N) Afloramento localizado em zona de contato entre a Formação Botucatu e Formação Serra Geral (figura 14). A amostra PP 07 é afanítica fanerítica fina, rica em pequenas amígdalas (1 mm – 1,5 cm) com geometria alongada, arredondadas e irregulares preenchidas por argilo-minerais. Possui uma matriz de coloração cinza-marrom. Composicionalmente a amostra pode ser classificada como um basalto. O tipo de rocha segundo Figueró (1997) insere-se na categoria R3 (Rocha hidrotermalizada amigdalóide) e R6 (rocha fraca muito alterada).



Figura 14 - Afloramento em talude de corte nos fundos de residência no município de Igrejinha - RS. Apresenta-se muito intemperizado com amígdalas preenchidas por argilo-minerais, situa-se em zona de contato entre a Fm. Botucatu e Fm. Serra Geral.

Ponto 8: (22J 0520491 E – 6729405 N) Pedreira ao norte da entrada ERS-115 no município de Igrejinha (figura 15). Amostra PP 08 é afanítica, rica em amígdalas (1 mm – 1 cm) com geometria alongada e arredondadas preenchidas por zeólitas. Afloramento bastante alterado indicando alteração hidrotermal. Composicionalmente a amostra pode ser

classificada como basalto. O tipo de rocha segundo Figueró (1997) insere-se na categoria R3 (Rocha hidrotermalizada amigdalóide).

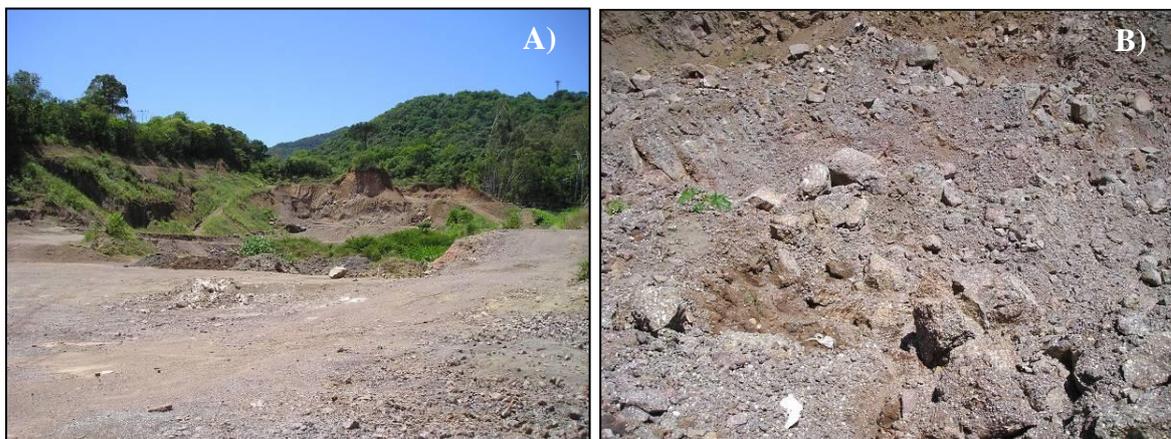


Figura 15 - Afloramento em pedreira inativa no município de Igrejinha - RS. Apresenta-se muito intemperizado, clara zona amigdalar, rochas com amígdalas preenchidas por zeolitas. Zona de contato entre Fm. Serra Geral e Fm. Botucatu.

Ponto 12: (22J 0522658 E – 6734381 N) Afloramento localizado no município de Três Coroas-RS em estrada vicinal a margem do Rio Paranhana (figura 16). Neste ponto a rocha caracteriza-se composicionalmente como basalto, a amostra PP 12 é afanítica, de coloração cinza médio, maciça. O tipo de rocha segundo a classificação de Figueró (1997) insere-se na categoria R1v (Rocha resistente pouco fraturada_vulcânica).



Figura 16 - Afloramento em estrada vicinal no município de Três Coroas-RS. Rocha maciça, composicionalmente caracterizada como basalto da Fm. Serra Geral.

Ponto 13: (22J 0522534 E – 6734391 N) Afloramento caracteriza-se por ser uma zona de contato entre as Formações Arenito Botucatu e Serra Geral (figura 17). O arenito apresenta coloração rosada e grão médio a grossos, logo acima está o basalto da Formação Serra Geral com coloração cinza amarronado com amígdalas arredondadas que variam de 3mm a 5mm, preenchidas por zeólitas. O tipo de rocha segundo Figueró (1997) insere-se na categoria R6 (Rocha fraca muito alterada).



Figura 17 - Afloramento em zona de contato entre a Fm. Botucatu e Fm. Serra Geral. Na base da figura aflora o arenito de coloração rosada e no topo da figura esta o basalto, da Fm. Serra Geral, com amígdalas esparsas e muito intemperizado.

Ponto 16: (22J 0522117 E – 6742871 N) Afloramento em estrada vicinal no município de Três Coroas em corte de estrada (figura 18). A amostra PP 16 é uma rocha vulcânica intemperizada com diques de diabásio também intemperizados distribuídos por toda área. A rocha receptora de coloração cinza amarronzada, com amígdalas arredondadas de (3 mm – 5 mm) preenchidas por zeólitas. A rocha dos diques possui coloração rosada apresentando feldspatos euédricos. Composicionalmente a amostra pode ser classificada como basalto. O tipo de rocha segundo Figueró (1997) insere-se na categoria R3 (Rocha hidrotermalizada amigdalóide) e R6 (Rocha fraca muito alterada).



Figura 18 - Afloramento em corte de estrada na cota aproximada de 220 m. Afloramento apresenta veios intemperizados de diabásio de coloração rosada intrudindo o basalto, também já intemperizado no afloramento.

Ponto 20: (22J 0515003 – 6752122) A amostra PP 20 (figura 19 a) possui coloração cinza clara textura fanerítica. Composicionalmente a rocha pode ser classificada como riolito Carijó. O tipo de rocha segundo Figueró (1997) insere-se na categoria R1v (Rocha resistente pouco fraturada_vulcânica).

Descrição petrográfica:

Amostra (figura 19 b) apresenta minerais de piroxênio euédricos menores que 1 mm. Poucos fenocristais (menos que 1%). Possui matriz com textura fina com cristais de plagioclásio (0,05 mm) compondo 90% da amostra.

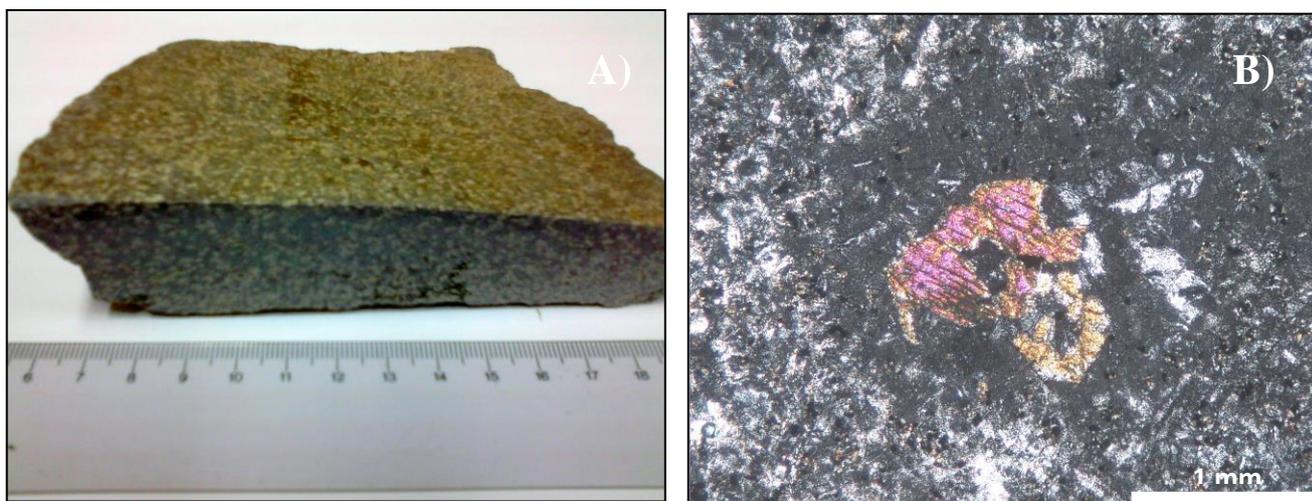


Figura 19 - a) Amostra PP 20, retirada de afloramento em corte de estrada no município de Gramado-RS na cota aproximada de 819 m. B) Fotomicrografia da amostra PP 20 mostrando fenocristal de piroxênio e matriz de textura fina composta por plagioclásios.

Ponto 25: (22J 0529487 E – 6753773 N) A amostra PP 25 (figura 20) possui matriz afanítica de coloração castanha escura, rica em amígdalas (1 – 2 cm) com geometria arredondada e irregular preenchidas por zeólitas. Também apresenta fenocristais de quartzo (1 – 2 cm). Composicionalmente a amostra pode ser classificada como um basalto. O tipo de rocha segundo Figueró (1997) insere-se na categoria R3 (Rocha hidrotermalizada amigdalóide) e R7 (Rocha com estrutura de fluxo).



Figura 20 - a) Afloramento em corte de estrada na cota aproximada de 611 m. B) Afloramento apresenta estrutura de fluxo, zona de contato entre dois derrames da Fm. Serra Geral.

Ponto 28: (22J 0522760 – 6747515) A amostra PP 28 (figura 21) é uma rocha vulcânica bem consolidada maciça, máfica, de coloração cinza com textura afanítica com esparsas amígdalas preenchidas por quartzo. Composicionalmente a amostra pode ser classificada como basalto. O tipo de rocha segundo Figueró (1997) insere-se na categoria R1v (Rocha resistente pouco fraturada_vulcânica).

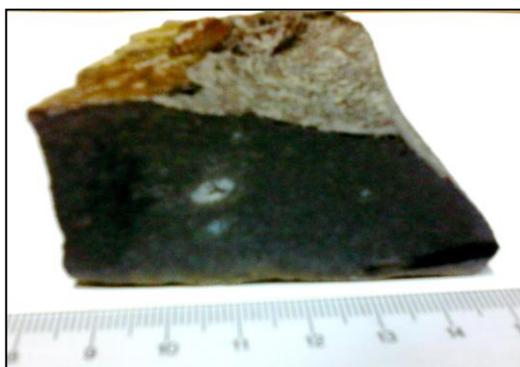


Figura 21 - Amostra macro PP 28, mostrando textura afanítica com amigdala preenchida por quartzo.

Descrição petrográfica:

Amostra (figura 22) retirada da porção maciça do afloramento é composta mineralogicamente por: 85% plagioclásio; 14% piroxênio e 1,0% de resíduos vítreos. Matriz muito fina com cristais menores que 0,05 mm apresentando esparças amígdalas preenchidas por quartzo.

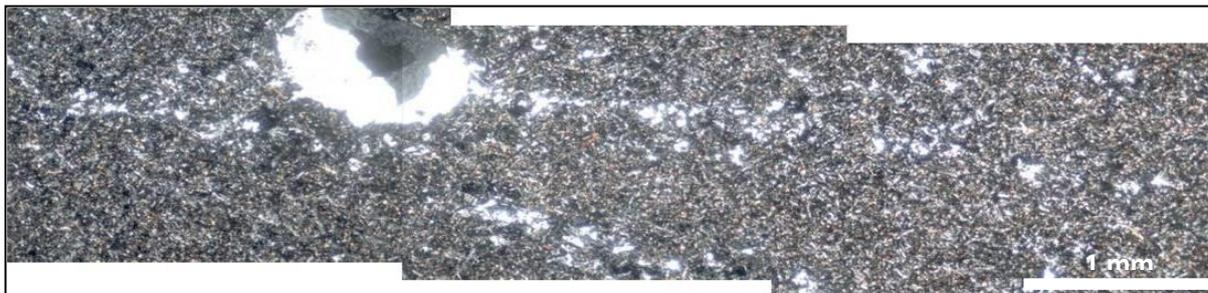


Figura 22 - Fotomicrografia da amostra PP 28 mostrando matriz fina com amígdala preenchida por quartzo.

Ponto 35: (22J 0527656 E – 6747515 N) Guarita (figura 23). Neste ponto a feição de relevo apresenta-se característica de perfil de derrame onde é possível observar disjunções verticais. Composicionalmente as rochas desta região podem ser classificadas como riolitos. O tipo de rocha segundo Figueró (1997) insere-se na categoria R1v (Rocha resistente muito fraturada, vulcânica).

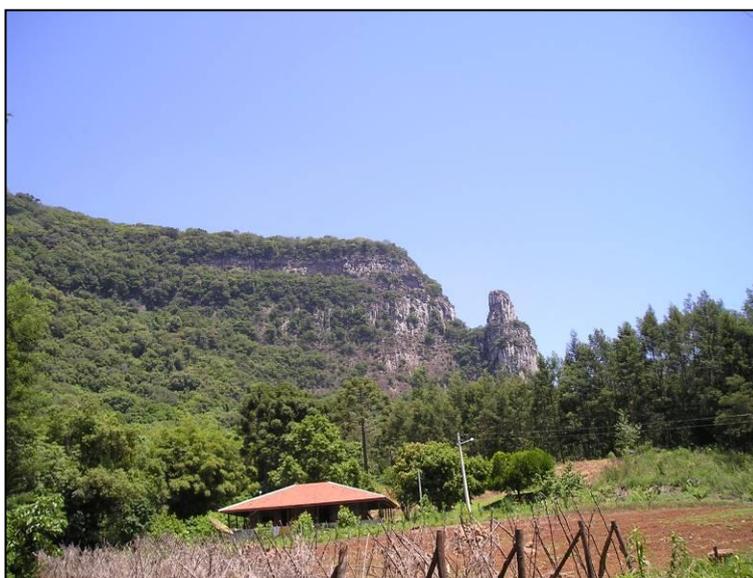


Figura 23 - Guarita. Afloramento avistado de estrada vicinal.

Ponto 40: (22J 0524313E – 6742311N) Afloramento em estrada vicinal no município de Três Coroas em corte de estrada (figura 24). A amostra PP 40 trata-se de uma rocha vulcânica bem consolidada maciça de coloração cinza com textura afanítica sem presença de amígdalas. Composicionalmente a amostra pode ser classificada como basalto. O tipo

de rocha segundo Figueró (1997) insere-se na categoria R1v (Rocha resistente pouco fraturada_vulcânica).

Descrição petrográfica:

Amostra (figura 24 b) retirada da porção maciça do afloramento é composta mineralogicamente por: 70% plagioclásio; 25% piroxênio; 2,5% opacos e 2,5% resíduos sub-vítreo. Os minerais de piroxênios e plagioclásios variam de 0,1-0,3 mm. A textura predominante é ofítica (intercrescimento de plagioclásio). Não possui presença de fenocristais.



Figura 24 - A) Afloramento em corte de estrada no município de Três Coroas-RS na cota aproximada de 292 m. Afloramento apresenta rocha básica (basalto) maciço, em pedreira para empréstimo. B) Fotomicrografia da amostra PP 40 mostrando textura ofítica.

Ponto 42: (22J 0523868 – 6741615) A amostra PP 42 é fanerítica fina, com amígdalas (4 mm) arredondas preenchidas por argilo-minerais. Possui uma matriz coloração cinza-acastanhada que envolve fenocristais de plagioclásio. As amígdalas são preenchidas com argilo-minerais de coloração esverdeada. Composicional mente pode ser classificada como um basalto. O tipo de rocha segundo Figueró (1997) insere-se na categoria R3 (rocha hidrotermalizada amigdalóide) e R6 (Rocha fraca muito alterada).

Descrição petrográfica:

Amostra (figura 25 b) apresenta amígdalas (1,0 cm) preenchidas por argilo-minerais. A matriz microcristalina (minerais menores que 0,1 mm), possui coloração marrom e é composta por micrólitos de plagioclásio e porções vítreas. Possui esparsos fenocristais de feldspatos euédricos e subédricos. Os cristais de plagioclásio e piroxênio que compõem a amostra possuem tamanhos entre 0,5 – 0,8 mm.

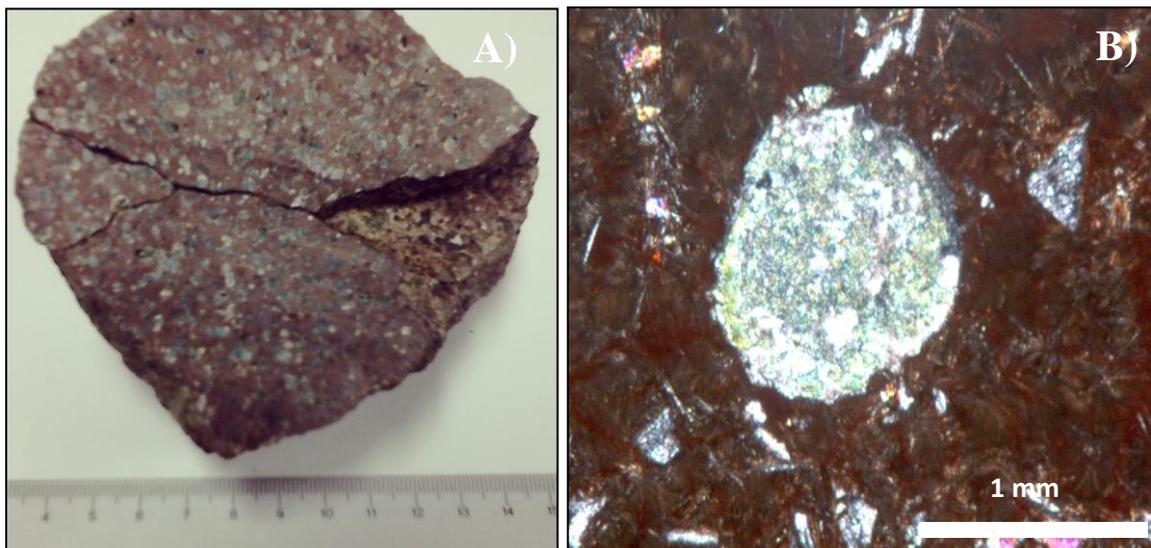


Figura 25 - A) Amostra PP 42, zona de contato na cota aproximada de 209 m. Amostra apresenta amígdalas preenchidas por argilo-minerais. B) Fotomicrografia mostrando amígdala preenchida por argilo-minerais e matriz composta por micrólitos de plagioclásio.

Ponto 46: (22J 0523325 – 6739486) Afloramento em estrada vicinal no município de Três Coroas em corte de estrada na margem esquerda do Rio Paranhana (figura 26). A amostra PP 46 trata-se de uma rocha sedimentar, de coloração rosada clara, com granulação média a grossa. O afloramento caracterizado como uma paleoduna da Formação Botucatu, apresenta estratificações cruzadas de grande porte. O tipo de rocha segundo Figueró (1997) insere-se na categoria R1s (Rocha resistente pouco fraturada_sedimentar).



Figura 26 - Afloramento em estrada vicinal na cota aproximada de 86 m no município de Três Coroas-RS. Afloramento de arenito da Fm. Botucatu apresenta estratificação cruzada de grande porte.

Ponto 51: (22J 0512155 E – 6744632 N) Afloramento (pedreira desativada) em estrada vicinal no município de Gramado (figura 27). A amostra PP 51 trata-se de uma rocha

vulcânica de coloração cinza acastanhada, fanerítica fina. Composicionalmente pode ser classificada como um riolito. Afloramento apresenta-se intemperizado no geral, porém em algumas porções é possível encontrar rocha sã e em alguns pontos esfoliação esferoidal. O tipo de rocha segundo Figueró (1997) insere-se na categoria R3 (Rocha hidrotermalizada amigdalóide) e R6 (Rocha fraca muito alterada).



Figura 27 - Afloramento em pedreira desativada na cota aproximada de 413 m no município de Gramado-RS. Afloramento de rocha ácida, já muito intemperizada apresentando esfoliação esferoidal.

Ponto 59: (22J 0518013E – 6729986N) Afloramento em corte de estrada no município de Igrejinha-RS (figura 28). A amostra PP 59 é fanerítica fina, com amígdalas (4 mm) arredondas preenchidas por zeólitas. Possui uma matriz coloração cinza-acastanhada que envolve fenocristais de plagioclásio. Composicionalmente pode ser classificada como um basalto. Afloramento apresenta esfoliação esferoidal. O tipo de rocha segundo Figueró (1997) insere-se na categoria R6 (Rocha fraca muito alterada).



Figura 28 - Afloramento em corte de estrada no município de Igrejinha-RS. Afloramento de basalto de zona de contato apresentando amígdalas e esfoliação esferoidal.

Ponto 60: (22J 0517150 – 6731082) Afloramento em estrada vicinal no município de Igrejinha-RS (figura 29). A amostra PP 60 possui coloração cinza acastanhada, com textura fanerítica apresentando plagioclásios euédricos, e matriz afanítica. Composicionalmente a rocha pode ser classificada como basalto. O tipo de rocha segundo Figueró (1997) insere-se na categoria R1v (Rocha resistente pouco fraturada_vulcânica).



Figura 29 - Afloramento em estrada vicinal na cota aproximada de 217 m no município de Igrejinha-RS. Afloramento de basalto da Fm. Serra Geral.

Ponto 61: (22J 05151114 – 6731823) Afloramento em corte de estrada localizado no município de Igrejinha-RS, a oeste do Morro da Cruz (figura 30). Rochas vulcânicas cinza clara afanítica com esparsas amígdalas (1 mm) preenchidas por zeólitas. Rocha com matriz, fina e maciça. O tipo de rocha segundo Figueró (1997) insere-se na categoria R3 (Rocha hidrotermalizada amigdalóide).



Figura 30 - Afloramento em estrada vicinal à oeste do Morro da Cruz na cota aproximada de 274 m no município de Igrejinha - RS. Afloramento de basalto da Fm. Serra Geral.

Ponto 63: (22J 0515860 E- 6732204)N. Afloramento em corte de estrada no Morro da Cruz no Município de Igrejinha (figura 31). A amostra PP 63 é afanítica fanerítica fina, rica em pequenas amígdalas (1 mm) com geometrias alongadas e irregulares preenchidas por argilo-minerais. Possui uma matriz coloração avermelhada que envolve fragmentos autoclásticos afaníticos, com uma mesma coloração e uma densidade inferior de vesiculação. Composicionalmente a amostra pode ser classificada como um basalto. O tipo de rocha segundo Figueró (1997) insere-se na categoria R3 (Rocha hidrotermalizada amigdalóide) e R7 (Rocha com estrutura de fluxo).



Figura 31 - Afloramento em estrada vicinal no Morro da Cruz na cota aproximada de 637 m no município de Igrejinha - RS. Afloramento de basalto da Fm. Serra Geral.

Ponto 65: (22J 0514473 E– 6733748 N) Afloramento em corte de estrada (figura 32). A amostra PP 65 trata-se de uma rocha vulcânica cinza clara maciça com presença subordinada de amígdalas arredondadas menores que 5 mm, presença de quartzo. Composicionalmente a amostra pode ser classificada como rocha ácida. O tipo de rocha segundo Figueró (1997) insere-se na categoria R1v (Rocha resistente pouco fraturada_vulcânica).



Figura 32 - Afloramento em estrada vicinal na cota aproximada de 625 m. Afloramento de rocha ácida da Fm. Serra Geral.

Ponto 66: (22J 0513600 E– 6733977N) A amostra PR 66 possui uma forte folheação de fluxo caracteriza pela alternância bandas cinza-escuras e cinza-claras (figura 33). São comuns feições subesféricas provavelmente geradas por desvitrificação. Composicionalmente a rocha pode ser classificada como riolito. O tipo de rocha segundo Figueró (1997) insere-se na categoria R7 (Rocha com estrutura de fluxo).



Figura 33 - Afloramento em estrada vicinal no Morro da Cruz na cota aproximada de 742 m. Afloramento de riolito apresentando folheação de fluxo.

Ponto 68: (22J 0516439E – 67735658N) Amostra PP 68 apresenta-se como rocha vulcânica afanítica, cinza amarronada, maciça com disjunção horizontal bem marcada (figura 34). Espaçamento de 20 em 20 cm entre as fraturas. Composicionalmente a rocha pode ser classificada como basalto. O tipo de rocha segundo Figueró (1997) insere-se na categoria R2 (Rocha resistente muito fraturada).



Figura 34 - Afloramento em estrada vicinal em cota aproximada de 467 m. Afloramento de basalto da Fm. Serra Geral apresentando disjunção horizontal com espaçamento aproximado de 20 em 20 cm.

Ponto 69: (22J 0 514574 E – 6746278 N) Afloramento em pedreira no município de Gramado-RS (figura 35). A amostra PP 69 possui uma forte folheação caracterizada pela alternância de níveis avermelhados claros com níveis cinza-escuro. Os primeiros são faneríticos fino, com textura granofírica marcada pelo intercrescimento de feldspato e quartzo. Os níveis escuros são mais raros e caracterizam-se por uma textura hipocristalina. Composicionalmente a rocha pode ser classificada como riolito. O tipo de rocha segundo Figueró (1997) insere-se na categoria R1v (Rocha resistente pouco fraturada_vulcânica), R4 (Rocha com brecha vulcânica) e R7 (Rocha com estrutura de fluxo).



Figura 35 - Pedreira municipal de Gramado-RS, em cota aproximada de 715 m (figura 30). Afloramento de riolitos e de rochas vulcânicas que apresentam folheação.

Ponto 72: (22J 0510365 E – 6744351 N) A amostra PP 72 possui coloração cinza escura com textura fanerítica média a fina (figura 36). O afloramento apresenta-se muito fraturado com disjunções verticais. Composicionalmente a rocha pode ser classificada como riolito. O tipo de rocha segundo Figueró (1997) insere-se na categoria R2 (Rocha resistente muito fraturada) e R5 (Rocha vitrófira).



Figura 36 - Afloramento em estrada vicinal em cota aproximada de 739 m. Afloramento de riolito apresenta disjunção vertical.

Ponto. 74: (22J 0 514620 E – 6741900 N) A amostra PP 74 (figura 37) possui coloração cinza acastanhada, com textura afanítica, apresenta amígdalas esparsas preenchidas por quartzo (2mm – 1cm). O afloramento apresenta-se disjunções horizontais. É possível perceber que raízes de árvores se infiltram nas fraturas. Composicionalmente a rocha pode ser classificada como basalto. O tipo de rocha segundo Figueró (1997) insere-se na categoria R1v (Rocha resistente pouco fraturada_vulcânica). Neste ponto, ao lado esquerdo da estrada foi identificada uma cicatriz de movimento de blocos e massa. Provavelmente este ocorreu em função da rocha desagregada pelas infiltrações de raízes somadas ao temporal ocorrido nos dias 24 e 25 de agosto de 2013.



Figura 37 - Afloramento em estrada vicinal em cota aproximada de 359 m no município de Três Coroas-RS. A) Afloramento de basalto da Fm. Serra Geral, rocha apresenta a infiltração de raízes nas fraturas. B) Cicatriz de movimento de blocos e de massa.

Ponto. 76: (22J 0527523 E– 6737522 N) A amostra PP 76 possui coloração cinza escura, com textura afanítica sem vesículas (figura 38). Maciça, com a borda oxidada apresentando coloração laranja na borda. Composicionalmente a rocha pode ser classificada como basalto. O tipo de rocha segundo Figueró (1997) insere-se na categoria R1v (Rocha resistente pouco fraturada_vulcânica).



Figura 38 - Afloramento em estrada vicinal em cota aproximada de 489 m. Afloramento de rocha básica afanítica, maciça, caracteriza-se basalto da Fm. Serra Geral.

Ponto. 81: (22J 0539095 E– 6743462 N) A amostra PP 81 (figura 39) possui coloração cinza clara textura fanerítica. Composicionalmente a rocha pode ser classificada como

riolito Carijó. O tipo de rocha segundo Figueró (1997) insere-se na categoria R1v (Rocha resistente pouco fraturada_vulcânica).



Figura 39 - Afloramento na ERS-235 em cota aproximada de 876 m no município de Canela-RS. Rocha ácida (riolito Carijó) apresentando textura “sal e pimenta”.

Ponto. 82: (22J 536623E – 6745562N) Afloramento ERS-235 no município de Canela-RS (figura 40). Amostra PP 82 caracteriza-se por ser riolito com textura fanerítica de coloração cinza médio. Possui fraturas de alívio horizontal espaçadas de 20 em 20 cm. O tipo de rocha segundo Figueró (1997) insere-se na categoria R2 (Rocha resistente muito fraturada).



Figura 40 - Afloramento na RS 235 em cota aproximada de 882 m no município de Canela-RS. Rocha ácida (riolito).

Ponto. 84: (22J 0527115 E – 6755792 N) O afloramento localizado na RS-235 no município de Canela caracteriza-se por ser uma pedreira inativa onde as rochas apresentam disjunção horizontal. (figura 41). A amostra PP 84 possui coloração cinza escura, com textura fanerítica sem vesículas. Composicionalmente a rocha pode ser classificada como riolito. O tipo de rocha segundo Figueró (1997) insere-se na categoria R2 (Rocha resistente muito fraturada).

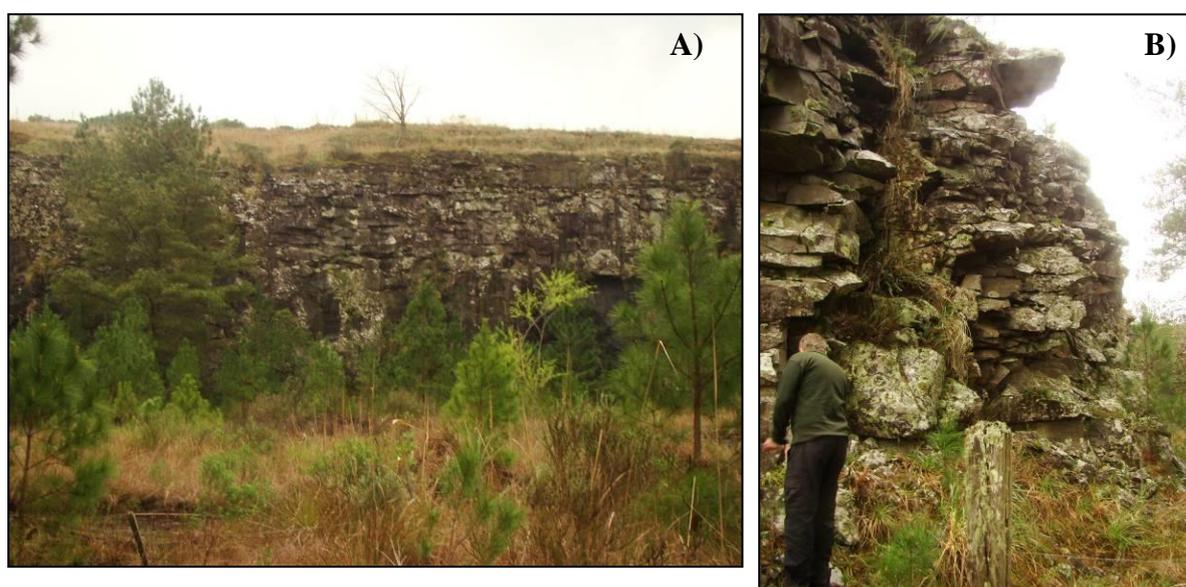


Figura 41 - Afloramento na ERS-235 em cota aproximada de 840 m no município de Canela-RS. A) Pedreira inativa de rocha ácida (riolito) apresentando disjunção horizontal. B) Detalhe das disjunções horizontais.

Os pontos descritos acima se encontram espacializados no mapa no anexo 2 onde os mesmos estão identificados segundo o padrão de rocha do afloramento.

5.1.4 MAPA DE ZONAS GEOLÓGICAMENTE VULNERÁVEIS DA BHRP

As estruturas de fluxo magmático são, sem dúvida, o fator mais importante na determinação da qualidade da rocha, pois elas originam uma permeabilidade adicional à rocha, facilitando a percolação de água, o que acelera os processos intempéricos gerando materiais de baixa resistência. (NUMMER, 2003).

Na BHRP a intensidade da alteração intempérica do maciço rochoso está diretamente relacionada à presença de estruturas de resfriamento e tectônicas. A imagem de relevo sombreado, por ser uma das maneiras mais realistas de se representar dados tridimensionais em um ambiente bidimensional, foi utilizada para extrair os lineamentos estruturais apresentados no anexo 1.

Os lineamentos sugerem a direção ou caminhos preferenciais de percolação da água de infiltração no maciço rochoso. Deste modo, quanto maior a densidade de estruturas, conforme observado nas porções rochosas com estrutura de fluxo, maior a intensidade dos processos intempéricos.

O mapa de zonas geologicamente vulneráveis da BHRP, apresentado a seguir (figura 42) demonstra que as zonas vulneráveis da bacia não se limitam somente aos contatos entre as formações Botucatu e Serra Geral, mas também aos contatos entre derrames da Fm. Serra Geral. Estes últimos não foram mapeados em função do tempo para o mapeamento, mas os pontos identificados em campo situam-se em zonas de contato entre derrames e entre diferentes litologias.

A espacialização gerada a partir dos dados de campo (pontos descritos), referencial bibliográfico e índice de vulnerabilidade das rochas de Crepani (2001), demonstra que, segundo a geologia, as zonas vulneráveis abrangem praticamente toda a área aflorante da Fm Botucatu e da Fm. Serra Geral (Fácies Gramado). Isto se deve as áreas de contato litológico e a faciologia geológica existente, como já citado, que possuem estruturas que permitem a infiltração de fluidos e a conseqüente alteração dos minerais das rochas.

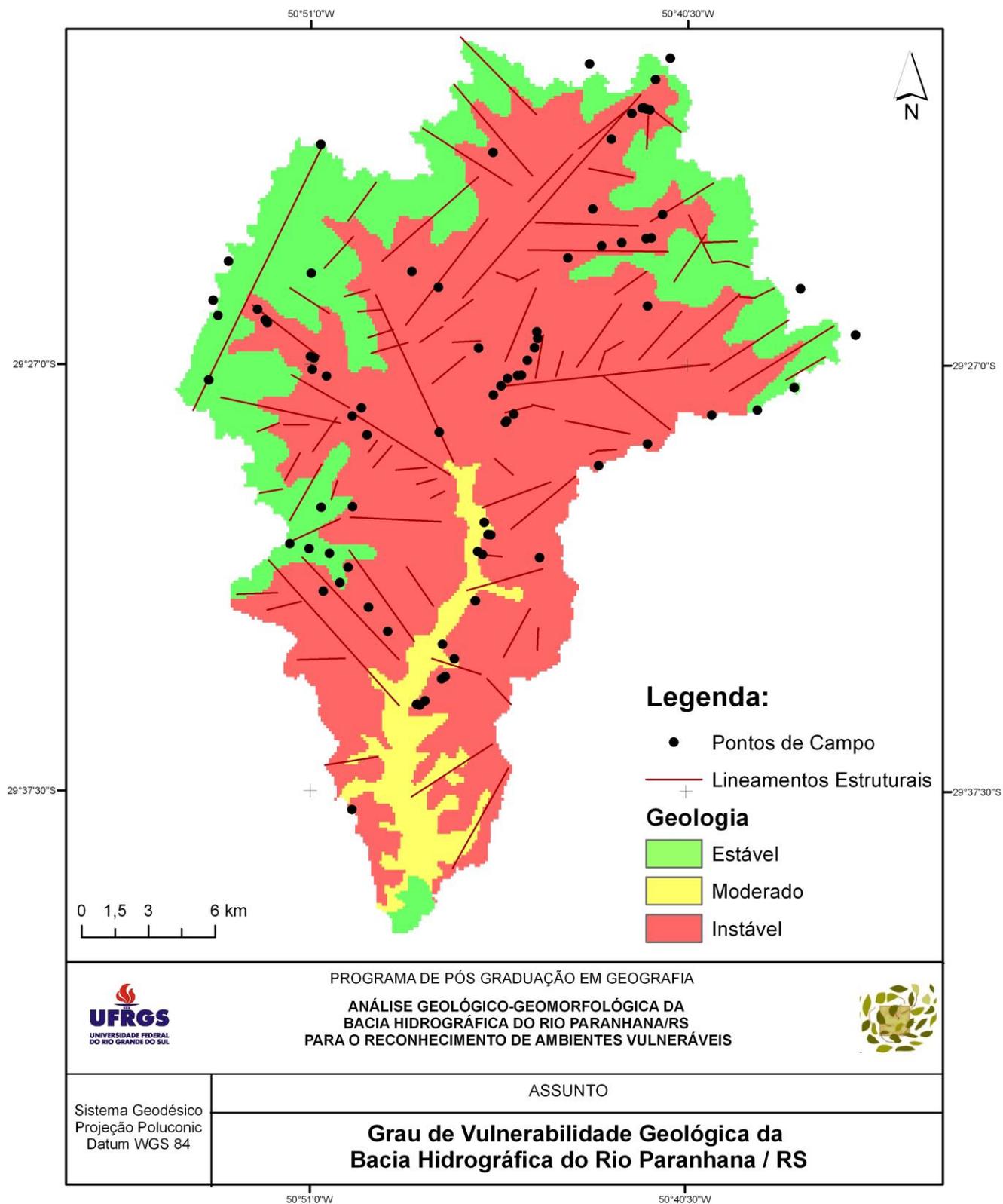


Figura 42 - Mapa de zonas geologicamente vulneráveis da Bacia Hidrográfica do Rio Paranhana.

5.2 GEOMORFOLOGIA DA ÁREA

O relevo da BHRP está estritamente vinculado ao substrato geológico. O IBGE (2000) classifica este relevo como sendo no norte da bacia o Planalto das Araucárias e no centro sul da bacia, Depressão Central Gaúcha.

Para o estudo geomorfológico deste trabalho utilizou-se uma escala média (terceiro táxon) para análise das formas de relevo da BHRP. Com base nos trabalhos de campo compartimentou-se o relevo em quatro unidades morfoesculturais, vinculando suas formas às litologias que as sustentam. Apresentam-se então: Planalto Basáltico (rochas vulcânicas ácidas), Patamar Baixo do Planalto Basáltico (rochas vulcânicas intermediárias e básicas) e Morros Médios Areníticos (rochas sedimentares) e Planície Fluvial (depósitos sedimentares recentes). A figura 43 demonstra duas unidades morfoesculturais presentes no norte da Bacia Hidrográfica do Rio Paranhana.

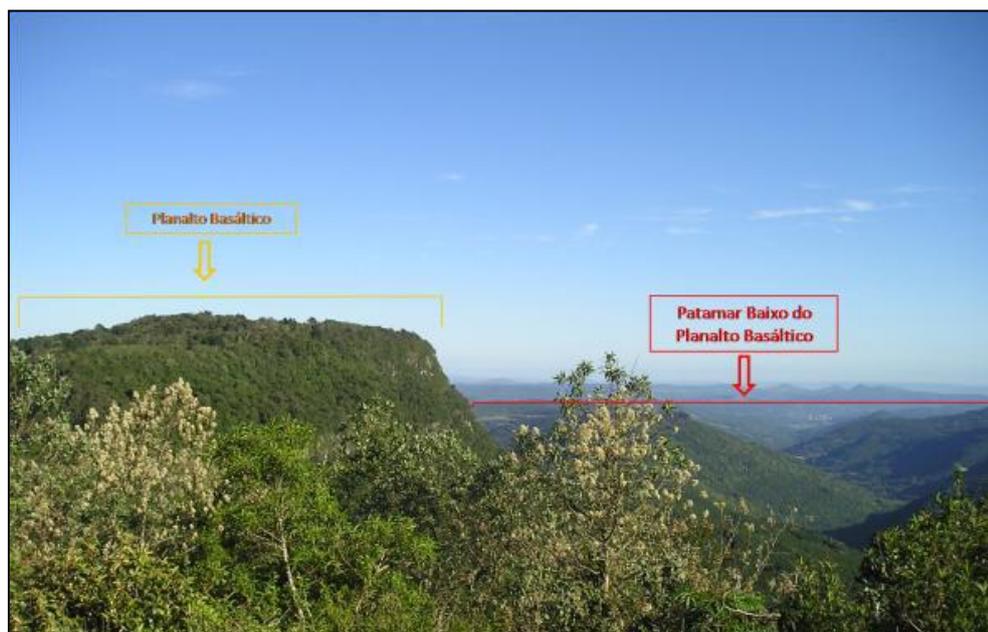


Figura 43 - Morfologia do relevo no município de Canela - RS.

A figura 44, registrada em trabalho de campo no município de Igrejinha-RS apresenta o relevo escalonado, onde é possível visualizar as três unidades morfoesculturais.



Figura 44 - Relevo em Patamares no município de Igrejinha - RS

O detalhamento das formas de relevo se deu junto ao processamento das variáveis geomorfométricas (declividade, curvatura vertical e curvatura horizontal).

De acordo com o mapa de declividades (figura 45), as áreas que apresentam maior vulnerabilidade onde o relevo é montanhoso e escarpado situam-se no centro-norte da bacia, abrangendo os municípios de Três Coroas, Gramado, Canela e São Francisco de Paula.

Riffel (2012) mapeou área de ocorrência de movimentos de massa na bacia do Paranhana, 80% destes pontos situam-se em área de altas declividades, principalmente nos municípios de Três Coroas e Igrejinha, também há uma ocorrência no município de Gramado. Na mudança faciológica entre as rochas vulcânicas ácidas e básicas registra-se uma quebra brusca de relevo. Onde são identificadas altas declividades que somadas ao escoamento superficial rápido formam ravinas e sulcos tendo um maior poder de transporte de blocos de rochas e matacões.

Em trabalho de campo no ano de 2013 constatou-se que a linha de escarpa ao norte da bacia, apesar de apresentar grau três de vulnerabilidade pela sua alta declividade, pode também ser considerada com vulnerabilidade moderada, se vista em conjunto com as demais variáveis geomorfométricas e geológicas, devido ao baixo aporte de sedimentos.

Nas linhas de escarpas que acompanham o médio e baixo curso do Rio Paranhana a vulnerabilidade aumenta, pois se somam as rupturas de vertentes (associadas às linhas de escarpa) as ocupações urbanas, os cortes de estrada, e o aporte de sedimentos principalmente nos municípios de Três Coroas e Igrejinha.

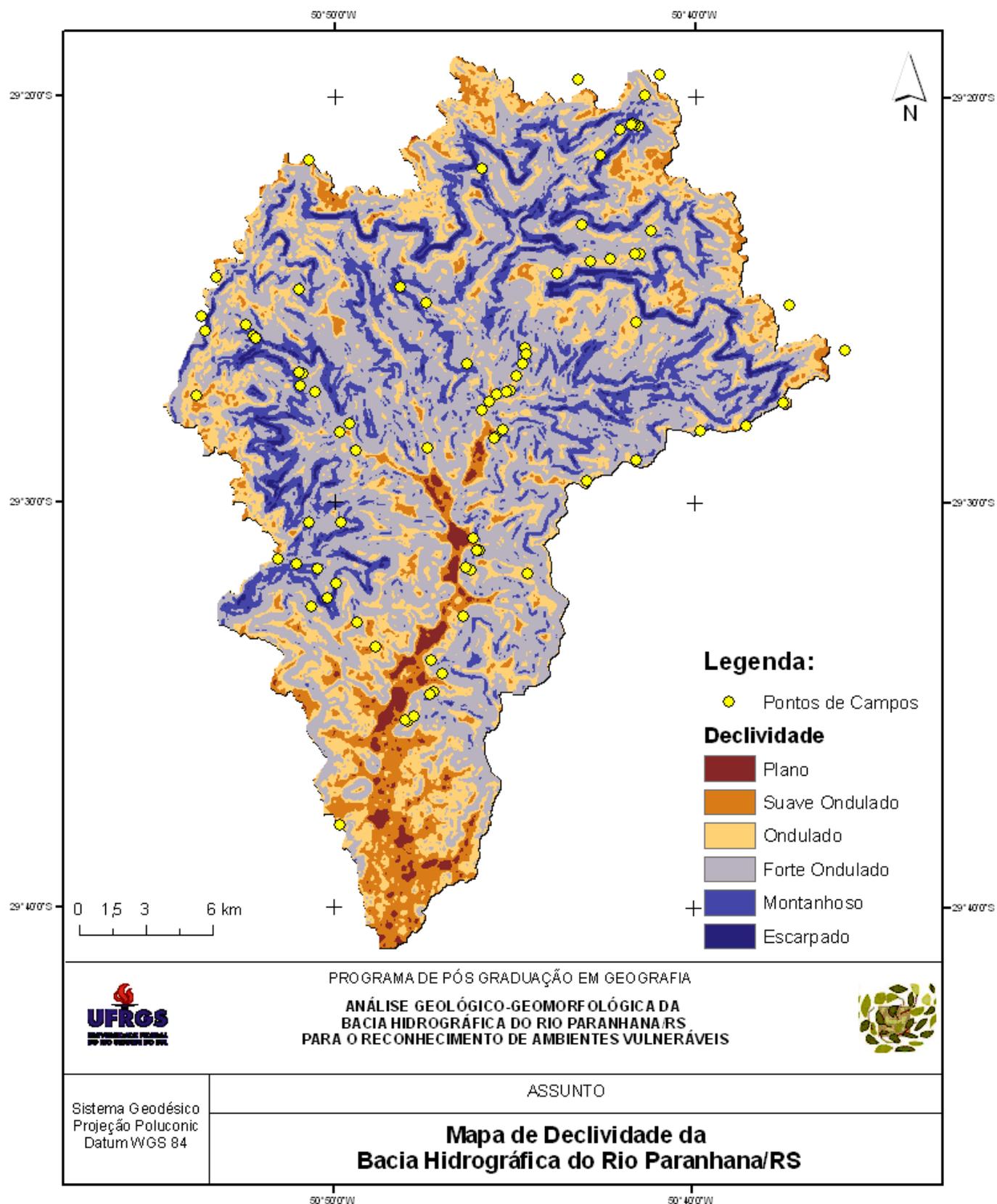


Figura 45 - Mapa de declividade da Bacia Hidrográfica do Rio Paranhana.

O mapa de curvatura vertical (figura 46) permite visualizar que os pontos amostrados em campo situam-se em zonas, ora muito côncavas, ora muito convexas. Isto, devido à quebra de relevo provocada pelas linhas de escarpas, que por sua vez são consequência da estruturação geológica da BHRP.

As zonas muito convexas, no centro da bacia estão relacionadas à linha de escarpa da zona de contato litológico entre Fm. Botucatu e a Fm. Serra Geral. Já no norte da bacia estas zonas muito convexas estão relacionadas à linha de escarpa do contato litológico entre as Fácies Gramado e Fácies Caxias, ambas da Fm. Serra Geral.

Em campo foi possível averiguar que em áreas convexas a porosidade e a permeabilidade das rochas são mais acentuadas. No centro-sul da BHRP, conforme diagnosticado por Riffel (2012), há maior incidência de movimentos de massa da região do vale do Paranhana.

As vertentes retilíneas bem como as convexas vinculam-se aos vales, e leito do Rio Paranhana. As vertentes côncavas estão relacionadas aos morros médios areníticos (LEMOS, 2013) situados no sul da bacia. Nestas vertentes, o fluxo laminar tende a se concentrar e são comuns os movimentos de massa do tipo corridas de detritos, que iniciam nesta forma de vertente e normalmente migram por vertentes retilíneas ou plano inclinadas até o sopé da encosta (NUMMER, 2003).

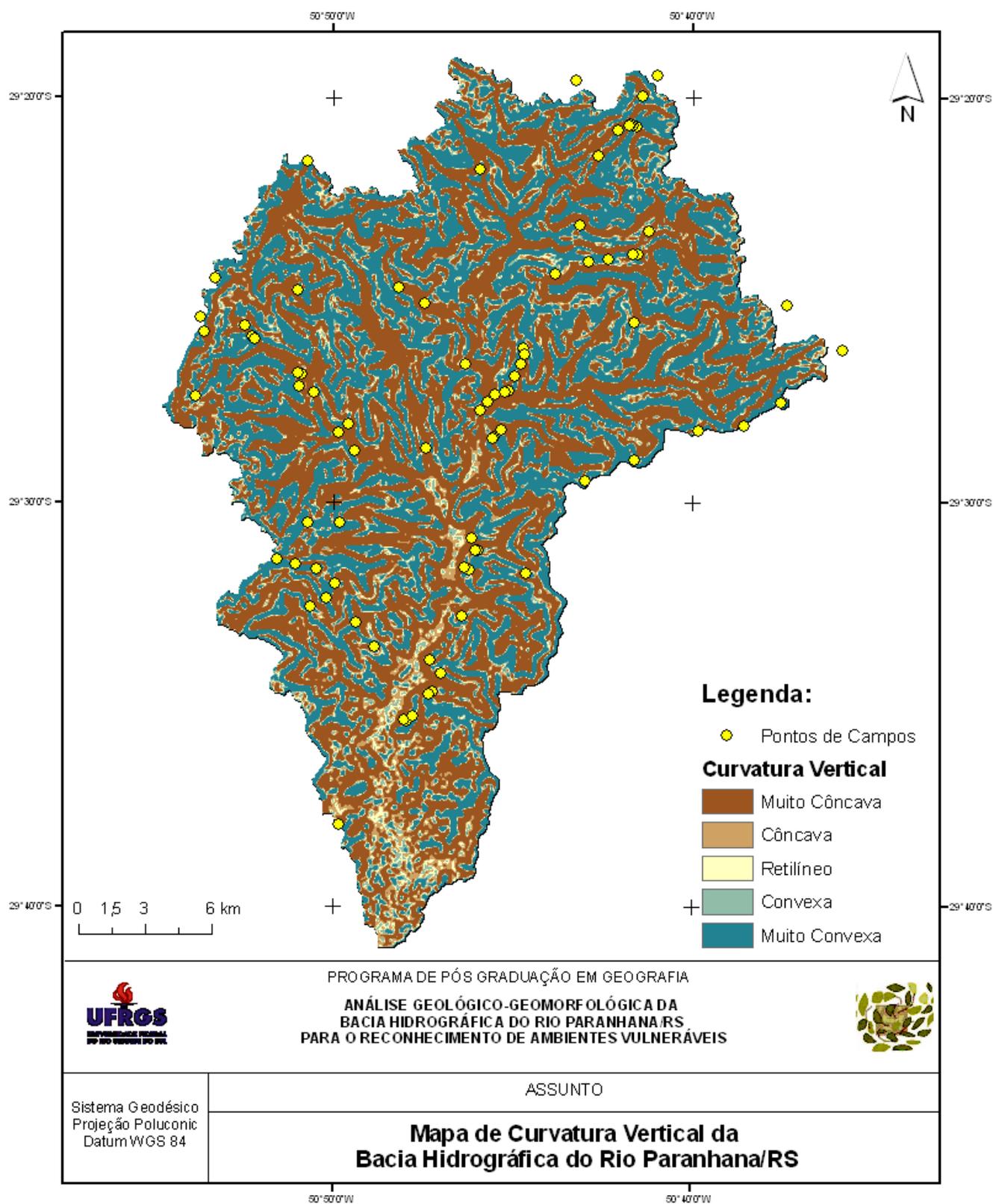


Figura 46 - Mapa de curvatura vertical da Bacia Hidrográfica do Rio Paranhana.

O mapa de curvatura horizontal (figura 47) permite visualizar que os pontos amostrados em campo localizam-se em zonas divergentes e de encosta. São nestas zonas divergentes que a vulnerabilidade da BHRP é acentuada devido aos taludes de corte, acumulo de sedimento e ocupação urbana. Percebe-se que as vertentes convergentes estão relacionadas ao curso do rio Paranhana bem como seus arroios. As áreas planares e muito divergente estão vinculadas ao leito do rio e sua zona de foz onde o relevo é composto pelos depósitos aluvionares.

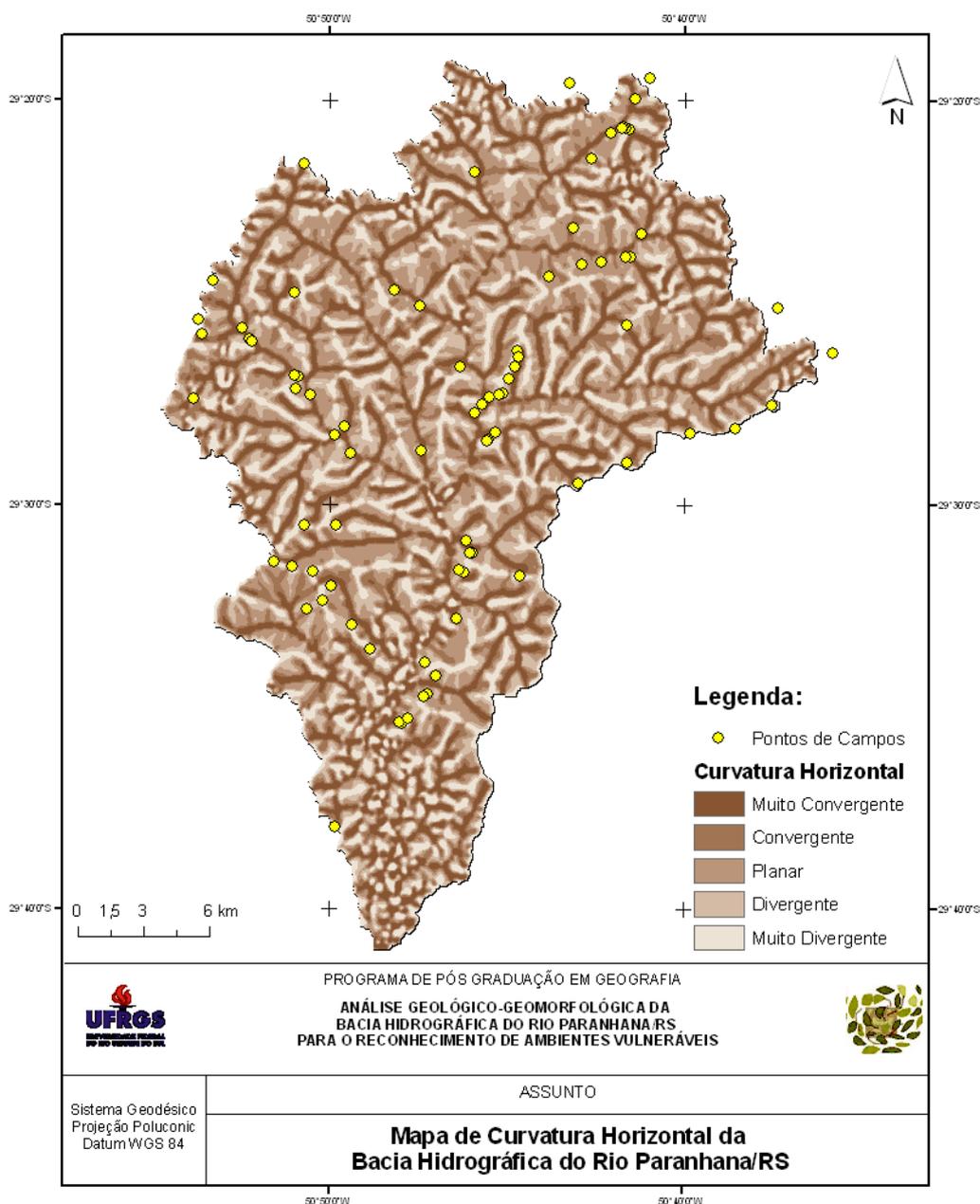


Figura 47 - Mapa de curvatura horizontal da Bacia Hidrográfica do Rio Paranhana.

5.2.2 MAPA DE ZONAS GEOMORFOLOGICAMENTE VULNERÁVEIS DA BHRP

Com processamento das variáveis geomorfométricas para o reconhecimento das formas de relevo da BHRP, as mesmas foram integradas mediante operações aritméticas realizadas no *ArcMap* no *Raster Calculator*. Por meio de análise multicritério atribuiu-se às variáveis, pesos de acordo com sua importância no diagnóstico de vulnerabilidade.

A figura 48 apresenta o grau de vulnerabilidade geomorfológica da BHRP. Os pesos atribuídos para esta análise foram: 0,50 para a declividade, 0,30 para a curvatura vertical e 0,20 para a curvatura horizontal. A declividade recebeu o maior peso, pois nos estudos de fragilidade ambiental Ross (1994) e de vulnerabilidade ambiental de Crepani (1996) esta variável é a mais importante no que se trata de estabilização de encostas.

Na bacia hidrográfica do Rio Paranhana, as áreas de escarpa e topos de morros foram classificadas como instáveis devido à alta declividade e a curvatura vertical. As zonas planas como os depósitos aluviais e a borda norte da bacia (campos de cima da serra) foram classificadas como estáveis visto que são áreas planas. Os morros médios (vertentes côncavas) foram classificados com vulnerabilidade moderada.

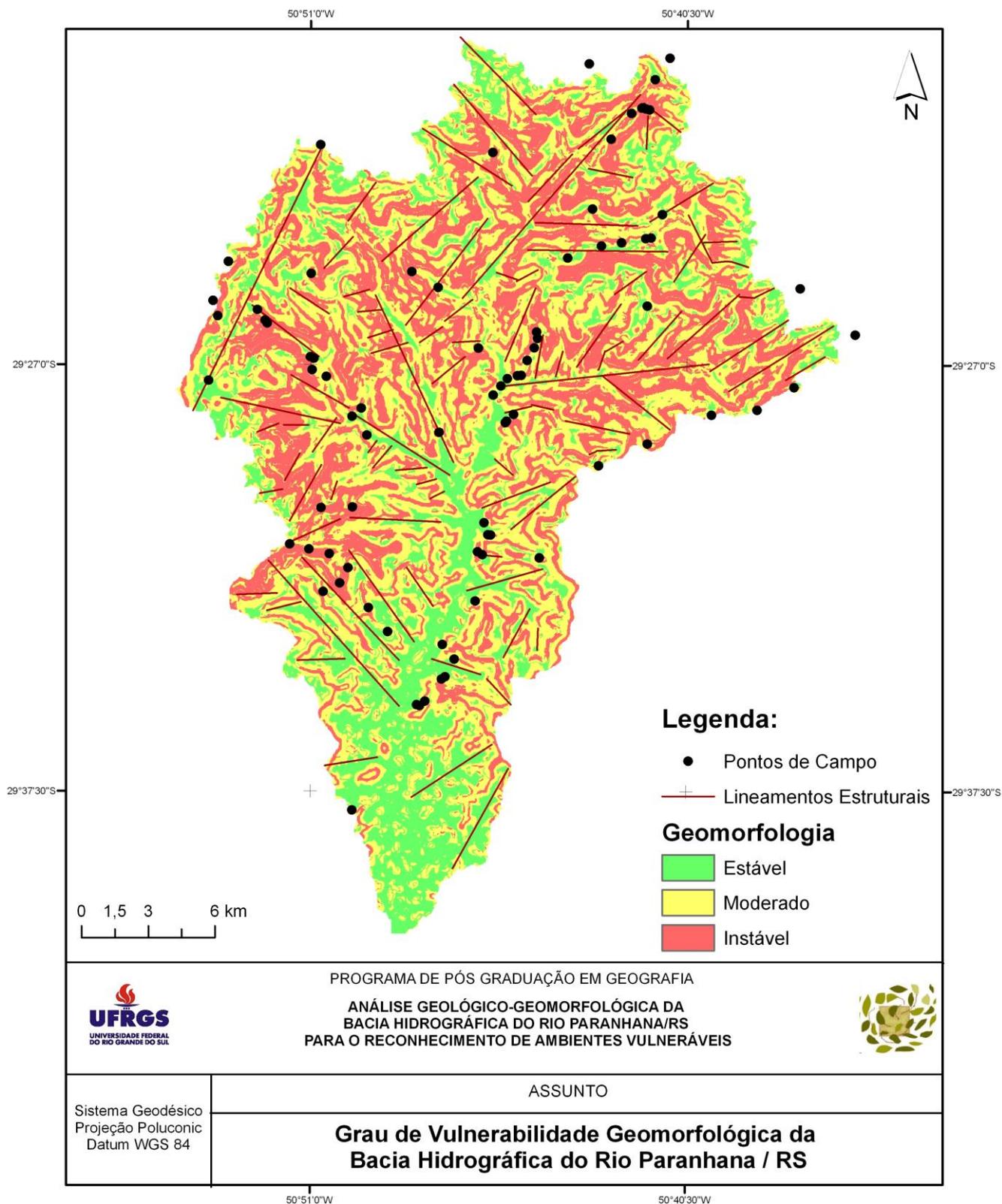


Figura 48 - Mapa de zonas geomorfológicamente vulneráveis da Bacia Hidrográfica do Rio Paranhana.

5.3 AMBIENTES VULNERÁVEIS DA BHRP

A vulnerabilidade ambiental da BHRP está diretamente vinculada ao substrato geológico. A figura 49 confirma esta afirmativa, visto que o substrato da Fácies Gramado apresenta estruturas geológicas características de sequência de derrames como as disjunções colunares e as zonas amigdalares. Estas estruturas permitem a infiltração e percolação de água desestabilizando a rocha.

Geomorfologicamente somaram-se as zonas instáveis, as áreas de vertentes convexas e de altas declividades. As áreas do planalto ao norte da bacia encontram-se classificadas como estáveis, pois a partir do planalto ocorre uma ruptura acentuada do relevo, dando origem a um sistema de altas declividades representado pelos paredões rochosos da Fácies Caxias. No centro da bacia apresenta-se um relevo em forma de patamares, escalonado, onde Nummer (2003) nomeia este como sistema de terreno Meia Encosta. Os patamares são compostos pela sucessão de derrames magmáticos da formação Serra Geral, nesta região a declividade se alterna entre acentuada (norte) e moderada (sul).

No sul da bacia junto à área de foz do rio Paranhana, as áreas planas foram classificadas como estáveis, visto que o critério para os pesos de ponderação levou em considerações as variáveis que permitissem as análises das formas de relevo principalmente com base no substrato geológico.

Os oitenta e quatro pontos visitados em campo encontram-se em área onde a vulnerabilidade é moderada, pois seguem os cortes de estrada, geralmente realizados em vertentes côncavas de média declividade. No nordeste da bacia no município de Gramado foram identificadas cicatrizes de deslizamentos em altas declividades e altas altitudes. Confirmando que embora esta região não possua um aporte de sedimento para movimentos de massa, a instabilidade litológica de alguns pontos torna esta área moderadamente vulnerável.

Os pontos de vinte e um a quarenta e quatro foram percorridos na estrada da represa Bugres do município de Canela até o município de Três Coroas. Seguiu-se de cota 748m à 91m, este trajeto permitiu que fosse aferida a influencia das estruturas de contato litológico e faciológico na estabilidade das rochas. Validando o produto cartográfico final, onde se atribuiu um peso maior à litologia e à declividade.

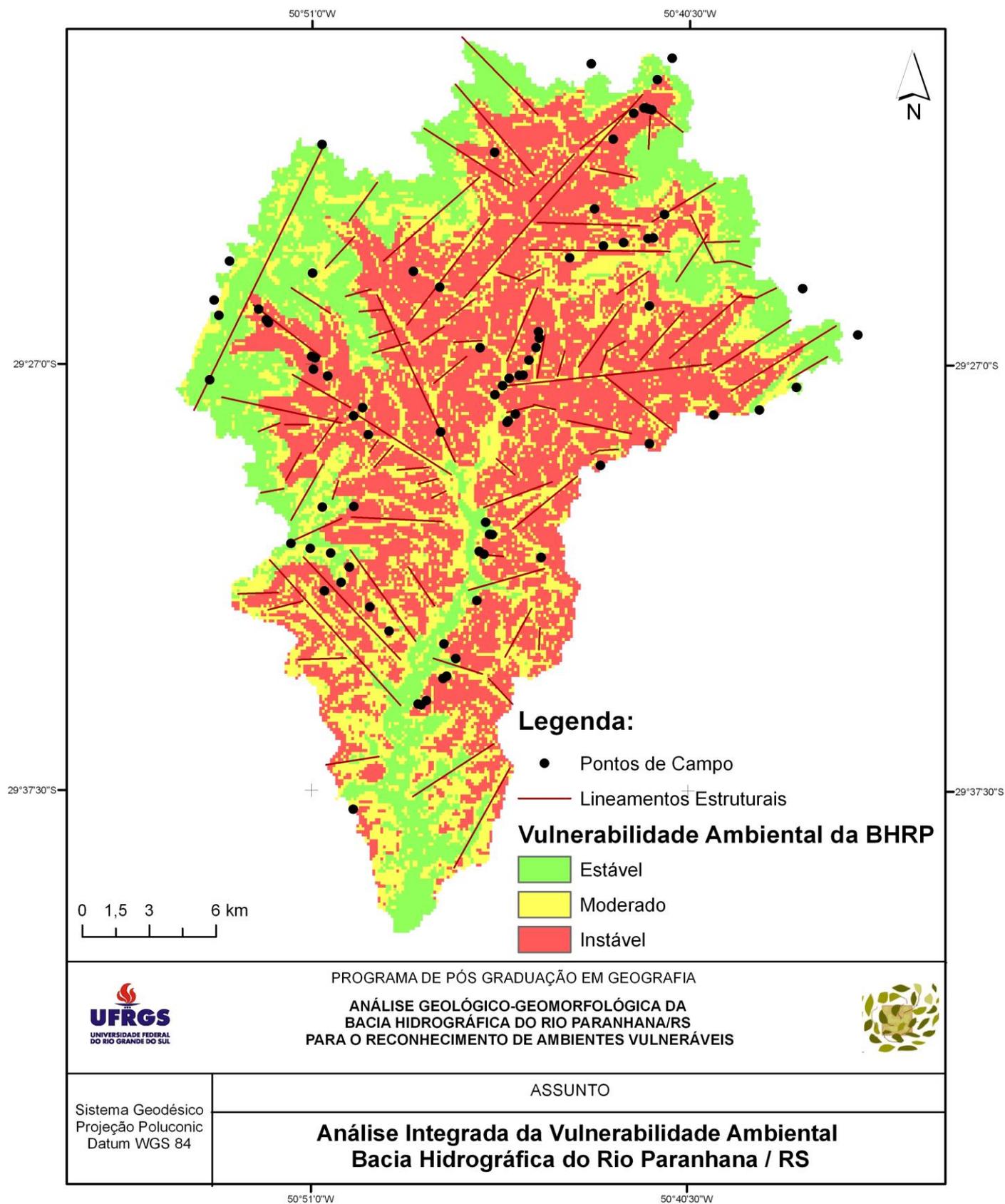


Figura 49 - Mapa de vulnerabilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Paranhana.

CAPÍTULO VI - CONCLUSÕES

A bacia hidrográfica do Rio Paranhana situa-se na encosta do planalto meridional que possui relevo escarpado, constituído por vertentes escalonadas em patamares e modelado pela alternância de derrames magmáticos. Os mecanismos de instabilização desses taludes dependem de fatores geológicos, geomorfológicos e estruturais.

Trabalhos desenvolvidos em áreas de escarpa no nordeste do estado do Rio Grande do Sul (NUMMER, 2003; VANACÔR, 2006; RIFFEL, 2012) reconheceram e caracterizaram áreas com fragilidade ambiental, investigando movimentos de massa. A presente dissertação utilizou estas referências como base, porém a investigação teve um caráter geológico acentuado a partir da hipótese de que as áreas de contato lito-faciológico também demandam atenção no estudo de ambientes vulneráveis.

Os resultados obtidos em trabalhos de campo e no processamento dos dados geomorfométricos foram satisfatórios. Visto que o uso de metodologias que utilizam o geoprocessamento, permite avaliar o potencial dos recursos naturais físico-naturais e bióticos da paisagem mediante a análise integrada de seus componentes.

A metodologia multicritério de álgebra de mapas possibilitou a integração dos dados geológicos com os geomorfológicos, destacando áreas vulneráveis (instável, moderado, e estável) da BHRP.

A interpretação foi possibilitada a partir da classificação dos tipos de rochas proposta por Figueiró (1997), esta classificação tornou possível caracterizar o tipo de rocha pela estrutura aflorante, facilitando a interpretação em relação à vulnerabilidade das rochas. Rochas do Tipo R2 (rocha resistente muito fraturada), R3 (rocha hidrotermalizada amigdalóide), R6 (rocha fraca muito alterada) e R7 (rocha com estrutura de fluxo) indicam área de contato de derrames.

A geomorfologia da BHRP acompanha as mudanças do substrato geológico fazendo com que grande parte da área de estudo não seja apta à ocupação regular (urbana), visto que 80% da área do centro para o norte da bacia é considerado instável frente às altas declividades e às acentuadas curvaturas verticais. Com base em trabalhos desenvolvidos na área há tendência de que os municípios se expandam cada vez mais, e que as ocorrências de desastres naturais aumentem.

Desta forma, sugere-se para trabalhos futuros nesta área, que seja realizado um mapeamento geológico dos derrames básicos e ácidos visto que foi identificado neste trabalho que estas áreas possuem influência genética nas formas de relevo e influência no grau de vulnerabilidade ambiental da região.

CAPÍTULO VII - REFERÊNCIAS

- ABREU, A. A. **A Teoria Geomorfológica e sua Edificação: Análise Crítica.** Revista Brasileira de Geomorfologia, Ano 4, Nº 2 (2003)
- ALLEN, R. L. **False pyroclastic textures in altered silicic lavas, with implications for volcanic-associated mineralization.** *Earn. Geol.* V.83. 1998.
- AYALA, I.A. **Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries.** *Geomorphology.* v.47. n.2. out. 2002.
- BARRELLA, W. **As relações entre as matas ciliares e os rios e os peixes.** In: RODRIGUES, R. R; LEITÃO FILHO; H. F. *Matas Ciliares: conservação e recuperação.* 2.ed. São Paulo: editora da Universidade de São Paulo. 2001.
- BASSO, L. A. **Bacias Hidrográficas do Rio Grande do Sul: Implicações ambientais.** In: VERDUM, R; BASSO, L. A; SUERTEGARAY, D. M. A. **Rio Grande do Sul: Paisagens e Territórios em Transformação.** Editora da UFRGS. Porto Alegre – RS. 2004.
- BIGARELLA, J. J. **Estruturas e origem das paisagens tropicais e subtropicais.** V. 3. 2003
- BLAHUT, J. **Debris flow hazard and risk analysis at medium and local scale.** Tese (Ph.D. Program in Environmental Sciences) – University of Milano, Bicocca, 2010.
- BORSATTO, S. **Contribuição ao estudo geológico-geotécnico da área urbana de Caxias do Sul.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências – IGEO. Porto Alegre - RS. 2011.
- CASTRO, A. L. C. **Manual de planejamento em defesa civil.** Vol.1. Brasília: Ministério da Integração Nacional / Departamento de Defesa Civil. 1999.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Análise morfométrica das bacias hidrográficas do Planalto de Poços de Caldas (MG).** Tese de Livre Docência. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1970.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia.** Edgar Blucher/USP. 149P. 1974.
- CPRM. **Mapas Geológicos da Região Costeira do Rio Grande do Sul Escala 1: 250.00 (Carta Gravataí).** CRPM/CECO-UFRGS. Porto Alegre. 2000.
- CPRM. **Formação Botucatu.** Disponível em:<
http://www.cprm.gov.br/Aparados/ap_geol_pag04.htm>. Acessado em 04 de agosto de 2013.
- CREPANI, E.; Medeiros, J. S.; Azevedo L.G.; HERMANDEZ Filho, P.; FLORENZANO, T.G.; DUARTE, V.; **Curso de sensoriamento remoto aplicados ao zoneamento ecológico-econômico [CD-ROM].** In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8

Salvador, 1996. Anais. São Paulo: Image Multimídia. Seção de Comunicações Técnico-Científica. 1996.

CREPANI, E. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial.** São José dos Campos, São Paulo: Editora do INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001.

CUNHA, S.B.; GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia e meio ambiente.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. p. 337-340.

FIGUERÓ, J. E. **Estudo Geológico-Geofísico na Rota do Sol.** Relatório do Mapeamento Geológico. ETEL – Estudos Técnicos de engenharia LTDA. Relatório Interno. 1997. Não publicado.

FLORENZANO, T. G. (Org.). **Geomorfologia: Conceitos e Tecnologias atuais.** São Paulo: Oficina de Textos. 2008.

FUJIMOTO, N. S. V. M. **Análise Ambiental Urbana na Área Metropolitana de Porto Alegre – RS: Sub-Bacia Hidrográfica do Arroio Dilúvio.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas. São Paulo – SP. 2001.

GUERASIMOV, I.P. *Essai d'interprétation geomorphologique Du schéma general de La structure geologique de l' URSS. Problèmes de Geographie Physique.* Moscou. V. 12. 1946.

GUERASIMOV, I. P. e MESCHERIKOV, J. A. *Morphostructure. In: The encyclopedia of geomorphology. Ed. R.W. Fairbridge.* New York: Reinhold Book Co. 1968.

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; MOLLERI, G. S. F; RUDORFF, F. M. **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos.** Ed. Organic Trading. Curitiba-PR. 2006.

IBGE. **Folha SH.22-X-C Gravataí: Geomorfologia.** Diretoria de Geociências. Rio de Janeiro-RJ. Escala: 1:250.000. Formato Digital. 2003.

IBGE. **Mapa exploratório de solos do estado do Rio Grande do Sul 1:1 000.000.** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Diretoria de Geociências. Rio de Janeiro – RJ. 2002.

INMET. **Gráfico Temperatura /Umidade e Precipitação Estação: A879 – Canela.** Disponível em: http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_auto_graf> Acessado em: 04 de Agosto de 2013.

LEMOS, A. C. C. **Reconhecimento de padrões de relevo da sub-bacia hidrográfica do rio Paranhana/RS pela análise de modelo numérico de terreno.** Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. Foz do Iguaçu, PR. INPE. 2013.

LEPSCH, I. F. coord. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso.** Campinas, Sociedade Brasileiro Ciência do Solo, 1991.

LEPSCH, I. F. **Formação e Conservação Dos Solos.** Oficina de Textos. São Paulo. 2002.

LIMA, W.P; ZAIKA, M.J.B. **Hidrologia de matas ciliares.** In: Matas ciliares: conservação e recuperação – editores Ricardo Ribeiro Rodrigues, Hermógenes de Freitas Leitão Filho. – São Paulo: Ed.Universidade de São Paulo: FAPESP, 2000.

LUERCE, T. D. **Mapeamento geomorfológico a partir de dados SRTM: bacia hidrográfica do rio dos Sinos, RS.** Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. Foz do Iguaçu, PR. INPE. 2013.

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

MANIERI, D. D. **Comportamento morfoestrutural e dinâmica das formas do relevo da bacia hidrográfica do rio São Pedro, Faxinal, PR.** Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Maringá. Programa de Pós-Graduação em Geografia. 2010.

MARCELINO, E. M.; Nunes, L. H.; Kobiyama. M. **Banco de dados de desastres naturais: análise de dados globais e regionais.** Caminhos de geografia. Uberlândia. 2006.

MILANI, E. J. **Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental.** 1997. 2 v. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

MILANI, E. J; MELO, J. H. G de; SOUZA, P. A de; FERNANDES, L. A; FRANÇA, A. B. **Bacia do Paraná.** In: Boletim de Geociências da Petrobras – Cartas Estratigráficas, Rio de Janeiro, v. 15, n.2. 2007.

MINEROPAR. **Melanocráticos.** Glossário Geológico. Disponível em:< <http://www.mineropar.pr.gov.br/modules/glossario/conteudo.php?conteudo=M#>>. Acessado em: 20 de novembro de 2013.

MOURA, E.F. **Percepção de risco em áreas de população vulnerável a desastres naturais do município do Guarujá – SP.** Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, 2011.

NARDY, A. J. R.; MACHADO, F. B.; OLIVEIRA, M. A. A.; **As rochas vulcânicas mesozoicas ácidas da Bacia do Paraná: litoestratigrafia e considerações geoquímicas-estratigráficas.** Revista Brasileira de Geociências, v. 38, n.1. 2008.

NUMMER, A. V. **Parâmetros Geológico-Geotécnicos controladores dos Movimentos de Massa na Rota do Sol/RS 486 – Itati, RS.** Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2003.

OLIVEIRA, G. G. **Modelos para Previsão, Espacialização e Análise das Áreas Inundáveis na Bacia Hidrográfica do Rio Caí, RS.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia – CEP SRM. Porto Alegre – RS. 2010.

PENCK, W. (1924). **Die Morphologische Analyse (Morphological Analysis of Landforms):** J. Engelhorn's Nachfolger, Suttgart, 283 p. English translation by Czech, H.&Boswell, K.C., London, 1953, St. Martin's Press, New York.

PENTEADO, M. M. **Fundamentos de Geomorfologia.** 3 ed, Rio de Janeiro: Fundação IBGE, 1983.

PENTEADO, A. F. **Análise Ambiental da bacia hidrográfica do arroio Kruze – Região Metropolitana de Porto Alegre – RS.** Instituto de Geociências. Programa de Pós – Graduação em Geografia. UFRGS. 2006.

PENTEADO, F. A. **Mapeamento e Análise Geomorfológicas como Subsídio para Identificação e Caracterização de Terras Inundáveis. Estudo de Caso da Bacia Hidrográfica do rio dos Sinos – RS.** Tese de doutorado. Universidade de São Paulo. FFLCH – USP. 2011.

PROSINOS. **Caracterização Socioambiental da região da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos.** Disponível em:< <http://www.portalprosinos.com.br/conteudo.php?id=bacia>>. Acessado em 14 de Agosto de 2013.

RADAMBRASIL. **Folha SH.22 Porto Alegre .** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 1986.

RIFFEL, E. S. **Análise e mapeamento das ocorrências de movimentos de massa na bacia hidrográfica do Rio Paranhana (RS).** Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Porto Alegre – RS. 2012.

ROBAINA. L. E de S. **Análise espaço-temporal das ocorrências de inundações e movimentos de massa no município de Caxias do Sul, RS.** Ciência e Natura. UFSM, nº 32(1). 2010.

ROSEINBERG, A. VIERO, A. P. **O vulcanismo magmático da bacia do Paraná no Rio Grande do Sul.** In: DE ROS, L.F; HOLZ, M (Eds). Geologia do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. CIGO/UFRGS. 2000.

ROSS, J. L. S. O Registro Cartográfico dos Fatos Geomorfológicos e a Questão da Taxonomia do Relevo. **Revista da Pós-graduação da USP**, São Paulo; USP, N°6, 1992.

ROSS, J. L. S. **Análise empírica da fragilidade de ambientes naturais antropizados.** In: Revista do Departamento de Geografia. São Paulo – SP. FFLCH – USP. nº 8. 1994.

ROSS, J. L. S. **A morfogênese da Bacia do Ribeira do Iguape e os Sistemas Ambientais.** in Revista GEOUSP – Espaço e Tempo, 12. São Paulo: FFLCH – USP, 2002.

SAITO, S. M. **Desastres Naturais: Conceitos Básicos**. I Escuela de primavera sobre soluciones espaciales para el manejo de desastres naturales y respuestas de emergências-inundaciones. INPE. Disponível em : < http://www.inpe.br/crs/crectalc/pdf/silvia_saito.pdf > Acessado em: 29 de novembro de 2013.

SANTANA, D. P. **Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. 2003.

SANTOS, R. F. dos. **Planejamento Ambiental: Teoria e Prática**. São Paulo: Oficina de Textos. 2004.

SANTOS, R. F.; Caldeyro, V. S. **Paisagens, Condicionantes e Mudanças**. In: . Santos. R. L. (organizadora). **Vulnerabilidade Ambiental**. Brasília: MMA. 2007.

SCHERER, C.M.S. **Análise estratigráfica e litofaciológica da Formação Botucatu (Eocretáceoda Bacia do Paraná) no Rio Grande do Sul**. Curso de Pós-Graduação em Geociências. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1998.

SCHERER, C.M.S. **Bacia do Paraná - Sucessão Mesozoica**. In: M. Holz & C.M.S. Scherer (eds.) *Geologia do Rio Grande do Sul*, Porto Alegre, Editora da UFRGS (in press). 2000.

SOARES, B. R.; BESSA, K. C.F.O.; OLIVEIRA, B. S.; ENGEL, A. S. **Dinâmica urbana na bacia do Rio Araguari (MG) – 1970-2000**. In: LIMA, S. C; SANTOS, R. J. (orgs). **Gestão ambiental da bacia do Rio Araguari – rumo ao desenvolvimento sustentável**. Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia/Instituto de Geografia; Brasília:CNPq. 2004

SUGUIO, K & BIGARELLA, J. J. **Ambientes fluviais**. 2º edição. Editora da UFSC: Editora da Universidade Federal do Paraná. Brasil. 1990.

TOMINAGA, K. L. **Avaliação de metodologias de Análise de risco a escorregamentos: Aplicação de um ensaio em Ubatuba, SP**. Tese de Doutorado. Instituto de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Universidade de São Paulo. 2007.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE-SUPREN. 1997.

UN-ISDR. **Living with risk: A global review of disaster reduction initiatives**. United Nations. Genebra, Suíça: UN, 2004. 457p. Disponível em: <<http://www.unisdr.org/we/inform/publications/657>>. Acesso em: 10 mar. 2014.

VALERIANO, M. M.. **Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul**. São José dos Campos, SP INPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais (INPE-10550-RPQ/756). 72p., 2004.

VALERIANO, M. M. **Topodata: Guia para utilização de dados geomorfológicos locais**. São José dos Campos. INPE. 2008.

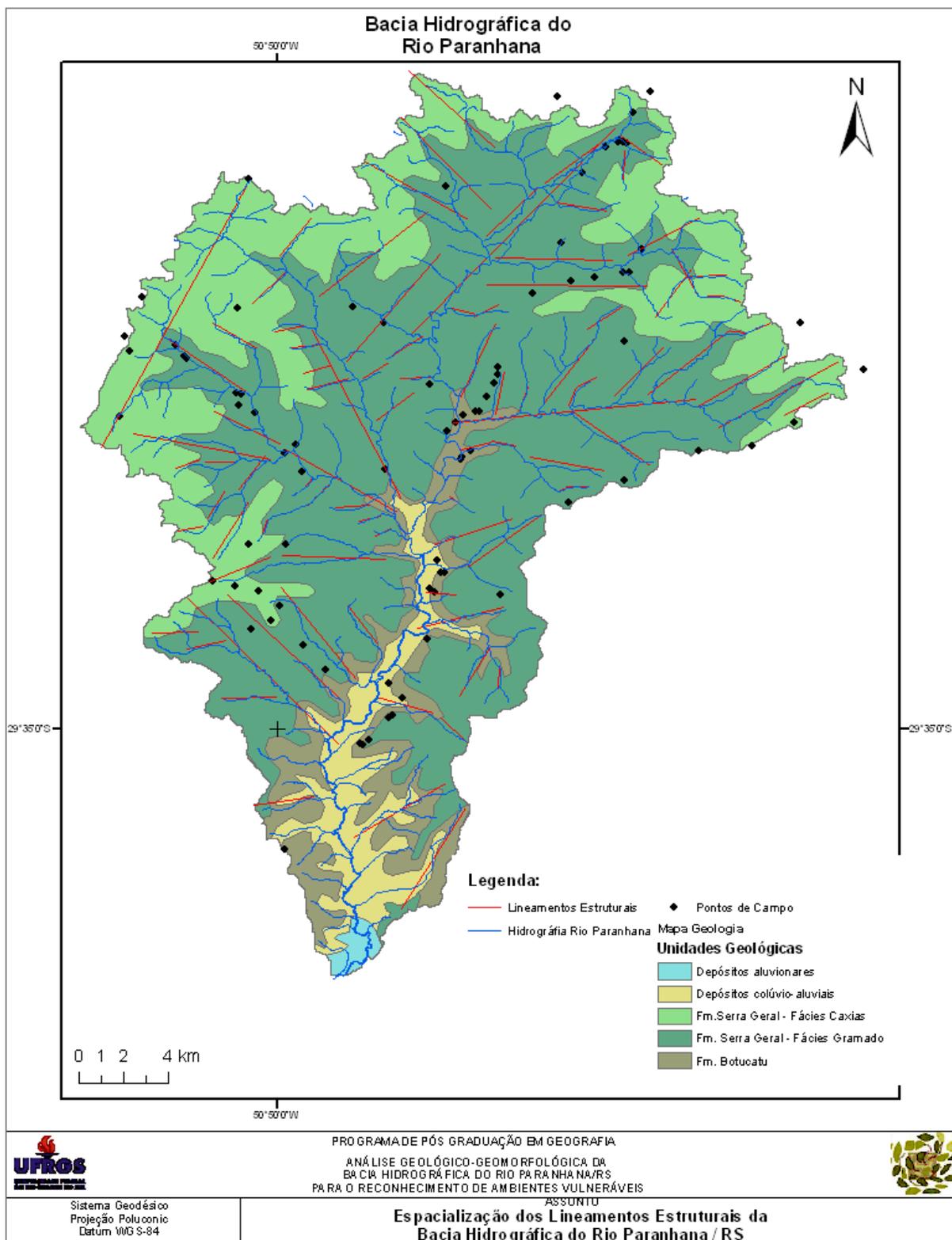
VALERIANO, M. M.; ROSSETTI, D. F.; ALBUQUERQUE, P. C. G. **Topodata: desenvolvimento da primeira versão do banco de dados geomorfométricos locais em cobertura nacional**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2009, Natal, RN. Anais..., São José dos Campos, SP : INPE, 2009. v. CD-ROM. p. 1-8.

VANACÔR, R. N. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao mapeamento das áreas susceptíveis a movimentos de massa na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul. Dissertação de mestrado. Centro de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia. UFRGS. 2006.

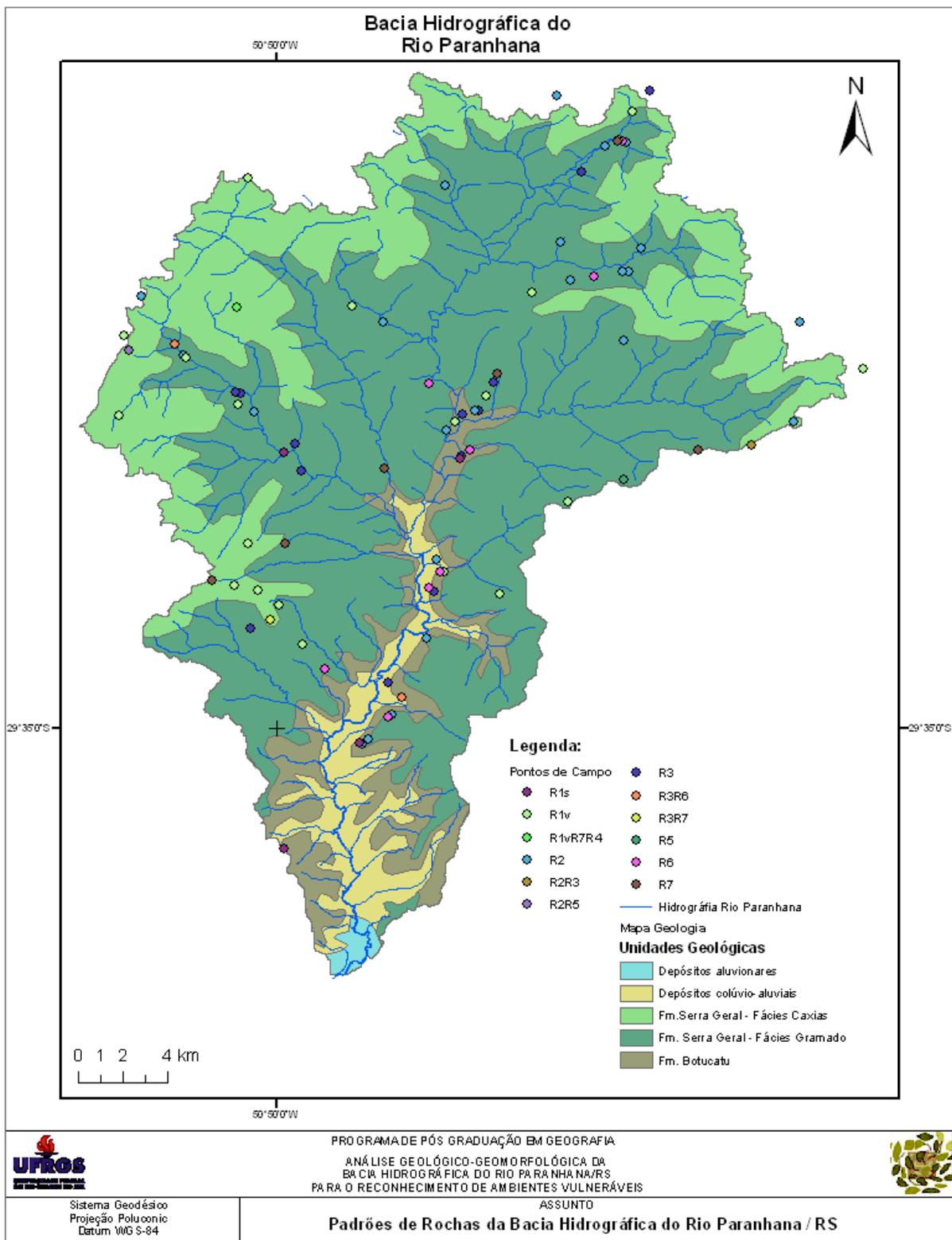
WEISSHEIMER, C. A degradação ambiental no arroio grande, Nova Hartz, RS. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Porto Alegre. 2007.

ZANOTTO, O. A. Erosão pós-Cretáceo na Bacia do Paraná, com base em dados de reflectância da vitrinita. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 5., 1993, Curitiba. Resumos. Curitiba: Sociedade Brasileira de Geologia, 1993. p. 58.

ANEXO 1



ANEXO 2



ANEXO 3

Ponto	X	Y	Alt.	Descrição	Observação
1	0516402	6721889		Duna – Arenito	
2	0519460	6726626	67m	Pedreira-Basalto (Igrejinha)	Encaminhada p/ lâmina
3	0519331	6726671	50m	Pedreira-Arenito (Igrejinha)	Encaminhada p/ lâmina
4	0519700	6726837	87m	Pedreira-Basalto (ERS-115)	
5	0520612	6727939		Foto-Arenito	
6	0520446	6727834		Contato Paredão (ponto sobre a Duna) Arenito	
7	0521020	6728744		Contato Basalto-Arenito (Basalto de Topo)	
8	0520491	6729405	80m	Pedreira ao norte da entrada de Igrejinha ERS-115. Área toda alterada provavelmente por fluídos. Basalto com zeolitas.	
9	0521971	6731376		Início do Basalto / Arenito Topo de duna	
10	0522283	6733479		Basalto (localidade - Saibreira)	
11	0522067	6733621		Solo_regolito Basalto	
12	0522658	6734381	103m	Basalto (Três Coroas)	
13	0522534	6734391	119m	Contato Arenito	

14	0522363	6734932	136m	Basalto_Estrada Templo Budista	
15	0523128	6741152		Basalto_Estrada Linha Café	
16	0522117	6742871	212m	Interação Vulcânica Ácida e Básica	
17	0520293	6745632		Rocha Ácida	
18	0519113	6746351		Riolito	
19				Hotel Laje de Pedra_Vista para o Vale do Quilombo / Rocha Ácida	
20	0515003	6752122	819m	Riolito Carijó_Estrada Gramado/Canela (Av. das Hortencias)	Encaminhada p/ lâmina
21	0530089	6755077	748m	Estrada Usina Hidrelétrica_ Riolito	
22	0529839	6753702		Rocha Ácida	
23	0529679	6753737		Paredão_solo vermelho_	
24	0529531	6753796	620m	Possivelmente Rochas Ácidas	
25	0529487	6753773	611m	Contato entre dois derrames – rochas ácidas	
26	0529023	6753538	558m	Represa Bugres – Rocha ácida	
27	0528102	6752372		Riolito / Basalto	
28	0522760	6751765	539m	Riolito_ (ocupação residencial na área)	Encaminhada p/ lâmina

29	0527254	6749188	539m	Riolito_ (ocupação residencial na área)	
30	0530400	6748936	527m	Pedreira desativada (rocha ácida)	
31	0529896	6747871	518m	Rocha ácida	
32	0529722	6744783	510	Rocha ácida	
33	0529657	6747847	523m	Rocha ácida	
34	0528567	6747657	542m	Rocha ácida alterada-solo	
35	0527656	6747515		Guarita – Rocha ácida	
36	0526139	6746959		Riolito	
37	0524741	6743606	425m	Rocha Ácida	
38	0524775	6743312	380m	Basalto	
39	0524627	6742888		Vale – foto morfologia	
40	0524313	6742311	292m	Pedreira desativada- Vulcânica	Encaminhada p/ lâmina
41	0524050	6741629	226m	Basalto	
42	0523868	6741615	209m	Basalto	Encaminhada p/ lâmina
43	0523418	6741480	128m	Basalto	
44	0523696	6739858	91m	Arenito	
45	0523374	6739551	87m	Base Arenito – Topo Vulcânica	
46	0523325	6739486	86m	Duna Arenito	
47	0515258	6741590	160m	Basalto Rolado	
48	0514698	6742416	212m	Estrada Moreira- Gramado / Basalto	

49	0514543	6742479	217m	Estrada Moreira-Gramado. Pedreira desativada basalto Zona amigdalas.	
50	0512498	6744151	351m	Estrada Moreira-Gramado – Basalto	
51	0512155	6744632	413m	Estrada Moreira-Gramado / rocha ácida	
52	0512493	6744155	363m	Estrada Moreira-Gramado / Rocha ácida	
53	0512596	6744018	315m	Basalto	
54	0522784	6740735		Taipas de basalto- Paranhana	
55	0520346	6739045		Lineamento de Basalto	
56	0516830	6740156		Limite Três Coras / Gramado – Contato Botucatu/Serra Geral	
57	0517089	6738920		Moreira (Três Coroas), basalto em baixa altitude (interduna)	
58	0516414	6739773		Moreira (Três Coroas), Arenito (Duna)	
59	0518013	6729986		Basalto vesicular, rocha cinzenta amarronzada com zonas de amigdalas. Matriz afanítica com plagioclásios de até 1mm euédricos. Abundante presença de	Pontos de campo dos dias 31/08/2013 e 01/09/2013

				vesículas preenchidas por zeolitas. A maior vesícula encontrada é de 3cm. Afloramento com esfoliação esferoidal. Afloramento alterado (Igrejinha)
60	0517150	6731082	217m	Afloramento com rochas vulcânicas matriz afanítica, plagioclásios euédricos – basalto. (Igrejinha)
61	0515114	6731823	274m	Afloramento à oeste do morro da cruz em Igrejinha. Rochas vulcânicas cinza clara afanítica com esparsas amígdalas de 1 mm. Rocha com matriz fina e maciça.
62	0516231	6732904	410m	Basalto maciço, sem níveis de vesículas, cinza claro.
63	0515860	6732204	637m	Ponto no alto do morro da cruz em Igrejinha. Rocha vulcânica com amígdalas preenchidas por zeolitas e calcita. Cor marrom- avermelhada. Amígdalas menores que 1cm. Fragmentos arredondados

				percebe-se retrabalhamento da lava com mesma composição.
64	0515387	6733535		Ponto no alto do morro da pedra (Igrejinha). Amostra cinza escura, matriz afanítica com vesículas de até 1mm. Rocha maciça.
65	0514473	6733748	625m	Rocha vulcânica cinza clara (maciça com presença subordinada de amígdalas menores que 5mm) presença de quartzo.
66	0513600	6733977	742m	Rocha vulcânica com estrutura de fluxo. Vesículas orientadas.
67	0515022	6735628	640m	Basalto com vesículas subordinadas. Maciço, com quartzo na vesícula.
68	0516439	6735658	467m	Rocha vulcaniza afanítica, cinza amarronzada, maciça com disjunção horizontal bem marcada. Espaçamento de 20 cm em 20 cm entre as fraturas. Rocha ácida.

69	0514574	6746278	715m	Pedreira municipal de Gramado. Base com estruturas de fluxo, cor avermelhada na base. Rocha predominante no afloramento é o riolito carijó com coloração cinza claro.
70	0510847	6746812	832m	Rocha vulcânica ácida. Riolito intemperizado.
71	0510148	6745044	786m	Rocha vulcânica afanítica maciça, cor cinza amarronzada. Apresenta subordinadamente vesículas menores de 1 cm.
72	0510365	6744351	739m	Basalto afanítico sem amígdalas cinza escuro e não é o carijó.
73	0509946	6741422	641m	Rocha vulcânica com matriz afanítica fina, coloração cinza amarronzada clara. Presença de vesículas.
74	0514620	6741900	359m	Rocha vulcânica maciça afanítica cinza clara sem vesículas (Basalto)
75	0524860	6733342	310m	Basalto vesicular, afloramento com vesículas bem preenchidas, preenchimento

				por calcita.
76	0527523	6737522	489m	Rs-020 – Rocha vulcânica afanítica, sem vesículas cinza escura, maciça.
77	0529720	6738505	638m	Rocha vulcânica afanítica vítrea cinza escura. (Vitrofirica)
78	0532614	6739814	672m	Afloramento na beira da estrada RS-020. Rocha Vulcânica (basalto) cinza escuro com vesículas menor que 1cm orientadas segundo um fluxo.
79	0534680	6740049	740m	Em escala de afloramento rocha fraturada (base) vesicular. No topo basalto mais maciço com poucas vesículas, afanítico.
80	0536338	6741076	904m	Rocha vulcânica riolito alterado.
81	0539095	6743462	876m	Rocha vulcânica (riolito)
82	0536623	6745562	882m	Afloramento RS-235, Riolito Carijó, Afloramento com fraturas de alívio horizontal.
83	0530754	6756044	815m	Riolito carijó (afloramento muito alterado).

	RS-235.			
84	0527115	6755792	840m	Pedreira abandonada na beira da estrada RS-235. Riolito Carijó.