

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE GRADUAÇÃO
CURSO DE GEOLOGIA**

TATIANE FERREIRA DA SILVA

**MAPEAMENTO GEOTÉCNICO E ANÁLISE DOS MOVIMENTOS DE MASSA
GRAVITACIONAIS OCORRIDOS NO MORRO DO CRUZEIRO
MUNICÍPIO DE CRUZEIRO DO SUL**

**SÃO LEOPOLDO
2018**

TATIANE FERREIRA DA SILVA

MAPEAMENTO GEOTÉCNICO E ANÁLISE DOS MOVIMENTOS DE MASSA
GRAVITACIONAIS OCORRIDOS NO MORRO DO CRUZEIRO
MUNICÍPIO DE CRUZEIRO DO SUL

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito para a obtenção do título de bacharel em geologia, pelo curso de Geologia da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Unisinos.

Orientador: M.sc. Thiago Peixoto de Araújo

SÃO LEOPOLDO

2018

RESUMO

O presente trabalho de pesquisa tem por objetivo realizar um mapeamento geotécnico com foco em Risco Geológico, quer seja por desastres naturais ou por ação antrópica. A área de estudo está localizada na mesorregião Centro Oriental Rio-grandense, no município de Cruzeiro do Sul, a 123 km de Porto Alegre. Apresenta relevo levemente ondulado e altitude média de 50 metros. De acordo com o levantamento de área do projeto Setorização de Risco da CPRM, realizado em fevereiro de 2013, o local foi classificado como área de risco. Em dezembro de 2015, a pedido da Defesa Civil, foi realizada nova vistoria, a qual confirmou o movimento de massa gravitacional do tipo rastejo em evolução no Morro do Cruzeiro, localizado no centro da cidade, com evidências nas residências do entorno. Com base nestes primeiros dados e também na necessidade de uma avaliação combinada com a elaboração de um banco de dados, mapas e parâmetros geotécnicos, o presente trabalho visa desenvolver um mapeamento geotécnico, com ênfase na geologia e geotecnia, para a elaboração de uma carta geotécnica, fazendo uso da avaliação do terreno “*landforms*” para orientação, controle e prevenção de desastres naturais.

Palavras-chave: Risco Geológico. Mapeamento geotécnico. Desastres naturais. *Landforms*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Perfil esquemático de rastejo	13
Figura 2 – Perfil esquemático dos tipos de movimento de massa por escorregamento	14
Figura 3 – Perfil esquemático de movimento de queda	15
Figura 4 – Perfil esquemático de movimento de corrida	16
Figura 5 – Localização da área de estudo	17
Figura 6 – Mapa geológico do município de Cruzeiro do Sul	19
Figura 7 – Níveis hierárquicos de avaliações do terreno	25
Figura 8 – Mapa de declividade	33
Figura 9 – Mapa do relevo do município destacando a área de estudo	34
Figura 10 – Mapa com a localização dos pontos de campo	35
Figura 11 – Mapa com as unidades de terreno	38
Figura 12 – Mapa com elementos do terreno	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação de desastres naturais	10
Tabela 2 – Classificação de desastres quanto a sua intensidade	10
Tabela 3 – Classificação da dinâmica de movimentos gravitacionais de massa associados à encosta	12
Tabela 4 – Descrição litológica da área	18
Tabela 5 – Sequência hierarquizada de mapas e cartas	23
Tabela 6 – Esquematização do estudo prévio ao mapeamento geotécnico	27
Tabela 7 – Tabela de atributos pertinentes	29
Tabela 8 – Classes de declividade	32

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	7
1.2 OBJETIVO.....	8
1.2.1 Objetivo Geral	8
1.2.2 Objetivos Específicos	8
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
2.1 CONCEITOS.....	9
2.1.1 Risco Geológico	9
2.1.2 Desastres	9
2.1.3 Movimento de Massa Gravitacional	11
2.1.3.1 Rastejo	13
2.1.3.2 Escorregamentos	13
2.1.3.3 Queda	15
2.1.3.4 Corrida	15
2.2 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO	16
2.2.1 Localização e Vias de Acesso	16
2.2.2 Clima	17
2.2.3 Vegetação	18
2.2.4 Geologia	18
2.2.5 Geomorfologia	20
2.2.6 Pedologia	20
2.2.7 Águas	21
2.3 MAPEAMENTO GEOTÉCNICO	21
2.3.1 Mapas Geotécnicos	21
2.3.1.1 Conceito de <i>landforms</i>	24
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
3.1 MATERIAL CARTOGRÁFICO	31
3.2 TRABALHO DE CAMPO	31
3.3 IDENTIFICAÇÃO DAS FEIÇÕES DO TERRENO	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	32
4.1 MAPA DE DECLIVIDADE	32
4.2 MAPA DE RELEVO SOMBREADO	33
4.3 ATIVIDADE DE CAMPO	34

4.4 MAPA DE <i>LANDFORMS</i>	37
5 CONCLUSÃO	41
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

1 INTRODUÇÃO

Os desastres naturais estão cada vez mais presentes no cotidiano das pessoas. Além daqueles de grandes magnitudes como terremotos, tsunamis, erupções vulcânicas e furacões, há ainda aqueles que integram processos e fenômenos mais localizados, como deslizamentos, inundações, subsidências e erosão, tanto naturais, quanto por ação antrópica.

Dada essa conjuntura, a participação geológica no levantamento de áreas de risco, no monitoramento e na prevenção de desastres é fundamental, principalmente com o aumento da urbanização, que, muitas vezes, ocorre em áreas impróprias.

Os estudos que relacionam feições de relevo e os processos neles atuantes, tanto no passado como na atualidade, além de suas condições de evolução, possibilitam um mapeamento geomorfológico moderno, que não somente descreve e representa as formas, mas também percebe sua importância e implicação nas situações ambientais. (VIVANCO, 2013). A avaliação do terreno, técnica utilizada na representação das formas do relevo, tem se mostrado, com o tempo, eficaz e importante na caracterização do meio físico. (LOLLO, 1998).

O presente estudo se propõe a avaliar os riscos geológico-geotécnico associados ao movimento de massa gravitacional (MMG) evidenciado em uma localidade no Município de Cruzeiro do Sul/RS.

A região denominada Morro do Cruzeiro, localizada no centro da cidade e, portanto, englobando área urbanizada, em 2013 foi indicada pelo levantamento de áreas de risco da CPRM (Setorização de Risco) como área de risco. Em 2015, por solicitação da Defesa Civil, novo levantamento da área foi realizado, indicando a presença de movimento de massa gravitacional, evidenciado, neste último caso, pelo movimento denominado rastejo.

Em 2016 a CPRM realizou um levantamento na localidade no qual descreve o movimento de massa gravitacional do tipo rastejo (*creep*) considerado em estágio avançado, com degraus de abatimento e plano de ruptura estabelecidos. Dentre os tipos de movimento de massa gravitacional, este é o movimento mais lento, da ordem de poucos centímetros ao ano, deslocando e abrindo fendas nas partes inferiores, fatores que dão indícios de escorregamentos (INFANTI JR e FORNASARI FILHO,

1998). Em função da saturação do solo, no entanto, ele pode assumir maior velocidade, proporcionando grande risco para as construções existentes na área.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

É objetivo geral deste trabalho é identificar e avaliar os riscos geológico-geotécnicos associados ao processo de rastejo da encosta da área, bem como a sua ocorrência, ou não, em outras áreas na região urbana do município.

1.2.2 Objetivos Específicos

Elaborar mapas/cartas geotécnicas com zoneamento de risco da área de estudo, através da utilização de sensoriamento remoto, caracterização e delimitação das feições do terreno (*landforms*).

Analisar a influência do desenvolvimento antrópico da região como contribuinte no processo de rastejo da encosta.

Averiguar a relação com a geologia estrutural da região.

Para isso, será realizada uma caracterização do risco geológico-geotécnico da área, através de estudos técnicos que serão apresentados no desenvolvimento deste estudo, o qual pretende subsidiar a administração local para a tomada de decisão no que tange as áreas de risco, tendo como um dos resultados a carta/mapa geotécnica de uma área no centro do município de cerca de 10 km², definindo assim políticas de segurança pública.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONCEITOS

2.1.1 Risco Geológico

Segundo Cerri e Amaral (1998), Risco Geológico determina uma situação de perigo, perda ou dano ao ser humano e suas posses, dada a probabilidade de ocorrer o processo geológico, sendo o mesmo provocado ou não.

Riscos, portanto, são condições determinadas por aspectos físicos, sociais, econômicos e ambientais, que aumentam a suscetibilidade de uma comunidade aos perigos. (UNDP, 2004).

2.1.2 Desastres

De acordo com o Glossário da Defesa Civil Nacional, um desastre se caracteriza como o

[...] 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 depende da interação entre a magnitude do evento adverso e o grau de vulnerabilidade do sistema receptor afetado. (CASTRO,1999, p. 4).

Tominaga (2009) descreve os desastres como fenômenos naturais que afetam áreas e regiões habitadas e que causam danos ao homem. Já o conceito aceito pela UN-ISDR (2009) considera desastres como um grande evento que envolve perdas sociais, materiais e ambientais, onde os impactos ultrapassam os recursos financeiros próprios da comunidade afetada.

Os desastres são classificados em função da sua origem e da sua intensidade. Quanto à origem ou causa primária do agente causador, eles podem ser classificados em naturais ou antropogênicos. Já quanto à intensidade, os mesmos são classificados por níveis, o que facilita o planejamento da resposta e da recuperação da área atingida. As ações e os recursos necessários para socorrer às vítimas dependerão da intensidade dos danos e dos prejuízos provocados. (ALCÂNTARA-AYALA, 2002; MARCELINO, 2008).

O INPE utiliza uma classificação para os desastres naturais, conforme a Tabela 1, com ênfase na origem dos mesmos. A Tabela 2, por sua vez, apresenta a classificação realizada por Kobiyama *et al.* (2006) em quatro níveis, caracterizados pela intensidade de danos e prejuízos, além da situação em que cada desastre coloca a região onde ocorre.

Tabela 1 – Classificação de desastres naturais

Desastres Naturais				
Biológicos	Geofísicos	Climatológicos	Hidrológicos	Meteorológicos
Epidemias	Terremotos	Secas	Inundações	Tempestades
Infestação por insetos	Vulcões	Temperaturas extremas	Movimento de Massa (com água)	
Ataques de animais	Movimento de Massa	Incêndios		

Fonte: INPE, (2007).

Tabela 2 – Classificação de desastres quanto a sua intensidade

Nível	Intensidade	Situação
I	Desastres de pequeno porte, também chamados acidentes, cujos impactos causados são pouco importantes e os prejuízos pouco vultosos. (Prejuízo menor que 5% PIB municipal)	Facilmente superável com os recursos do município.
II	De média intensidade, cujos impactos têm alguma importância e os prejuízos são significativos, embora não sejam vultosos. (Prejuízos entre 5% e 10% PIB municipal)	Superável pelo município, desde que envolva mobilização e administração especial.
III	De grande intensidade, com danos importantes e prejuízos vultosos. (Prejuízos entre 10% e 30% PIB municipal)	A normalidade pode ser restabelecida com recursos locais, complementados com recursos estaduais e federais. (Situação de Emergência – SE)
IV	De intensidade muito grande, com impactos bastante significativos e prejuízos muito vultosos.	Não é superável pelo município, sem que receba ajuda externa.

	(Prejuízos maiores que 30% PIB municipal)	Eventualmente necessita de ajuda internacional. (Estado de Calamidade Pública – ECP)
--	---	---

Fonte: Kobiyama et al. (2006, p. 8)

2.1.3 Movimento de Massa Gravitacional

As encostas, ou vertentes, com formas e declividades variadas são componentes da paisagem. Suas mudanças são relativas ao intemperismo, erosão e escorregamentos, cujos processos são acelerados, ou não, pela ação antrópica. (INFANTI JR e FILHO, 1998).

Filho e Virgili (1998) descrevem as encostas naturais como superfícies inclinadas de maciços terrosos, rochosos ou mistos, geradas por diferentes mecanismos geológicos ou geomorfológicos, com influência antrópicas, como cortes, desmatamentos, introdução de cargas e etc.

Cruden (1990 *apud* INFANTI JR, 1998, p. 136) considerou essas instabilidades de encostas como escorregamentos ou movimentos de massa, rocha, solo e detritos, vertente ou encostas a baixo. Para esses movimentos, Augusto Filho (1992), classificou os processos caracterizando o material e a geometria, descritos na Tabela 3.

Os movimentos de solo, rocha ou vegetação ao longo de encostas, sob a ação direta da gravidade, são denominados de movimentos de massa segundo Tominaga (2009), sendo um importante processo dinâmico natural que compõe a geomorfologia nas regiões serranas. Porém, o intenso progresso de urbanização e ocupação do solo em área impróprias e a ausência de planejamento e de proteção para diminuição de riscos, contribuem para que os desastres relacionados a estas áreas aumentem de ocorrência.

Vários processos podem desestabilizar a dinâmica superficial, com diversas classificações, que no geral utilizam os seguintes fatores básicos:

- a. velocidade, direção e recorrência dos deslocamentos;
- b. natureza do material, solo, rocha, detritos, depósitos, sua textura, estrutura e conteúdo d'água, etc.;
- c. geometria das massas movimentadas;

d. modalidade de deformação do movimento.

Tabela 3 – Classificação da dinâmica de movimentos gravitacionais de massa associados à encosta

PROCESSOS	MOVIMENTO/MATERIAL/GEOMETRIA
Rastejo (<i>creep</i>)	Vários planos de deslocamento (internos). Velocidade muito baixa (cm/ano) a baixa e decorrente com profundidade. Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes. Solo, depósitos, rocha alterada/fraturada. Geometria indefinida.
Escorregamentos (<i>slides</i>)	Poucos planos de deslocamento (externos). Velocidade média (m/h) a alta (m/s). Pequenas a grandes volumes de material. Geometria e materiais variáveis. Planares = solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza. Circulares = solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas. Em cunha = solos e rochas com dois planos de fraqueza.
Quedas (<i>falls</i>)	Sem planos de deslocamento. Movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado. Velocidade muito alta (vários m/s). Material rochoso. Pequenos e médios volumes. Geometria variável: lascas, placas, blocos etc. Rolamentos de matacão. Tombamento.
Corridas (<i>flows</i>)	Muitas superfícies de deslocamento (internas e externas à massa em movimentação). Movimentos semelhante ao de um líquido viscoso. Desenvolvimento ao longo das drenagens. Velocidade média a alta. Mobilização de solo, rocha, detritos e água Grandes volumes de material

Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas
--

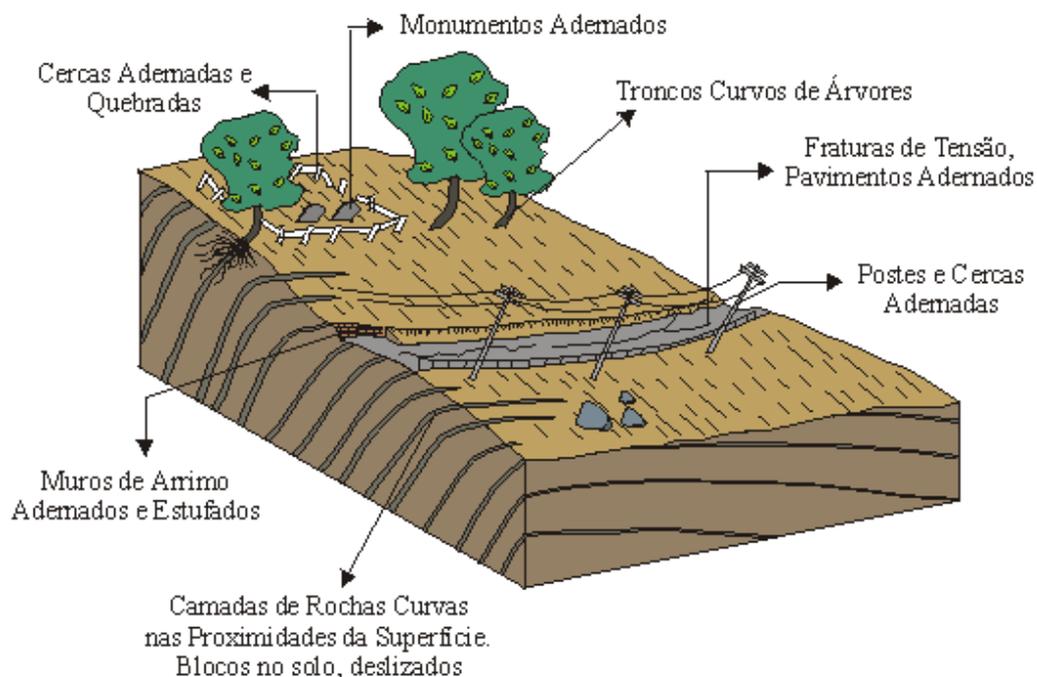
Fonte: Augusto Filho (1992, p. 137).

2.1.3.1 Rastejo

Para Tominaga (2009), rastejo são movimentos lentos, contínuos e indefinidos, com grande quantidade de volume de solo, ativos pela gravidade, e as variações de temperatura e umidade ocasionam expansão e contração da massa de material encosta a baixo (Figura 1).

O conceito de rastejo de Infanti Jr e Filho (1998) é um movimento lento e contínuo, que deslocam materiais a velocidades de centímetros por ano, possuindo uma deformação plástica, e sem superfície de ruptura definida. Podem acarretar danos significativos em obras civis, fundações de pontes e viadutos. E sua evolução para movimentos mais rápidos pode gerar escorregamentos.

Figura 1 – Perfil esquemático de rastejo



Fonte: UNESP (1999, p. 13).

2.1.3.2 Escorregamentos

Caracterizam-se por movimentos de massa rápido e de curta duração, com plano de ruptura bem definido, permitindo identificar o volume de material transportado

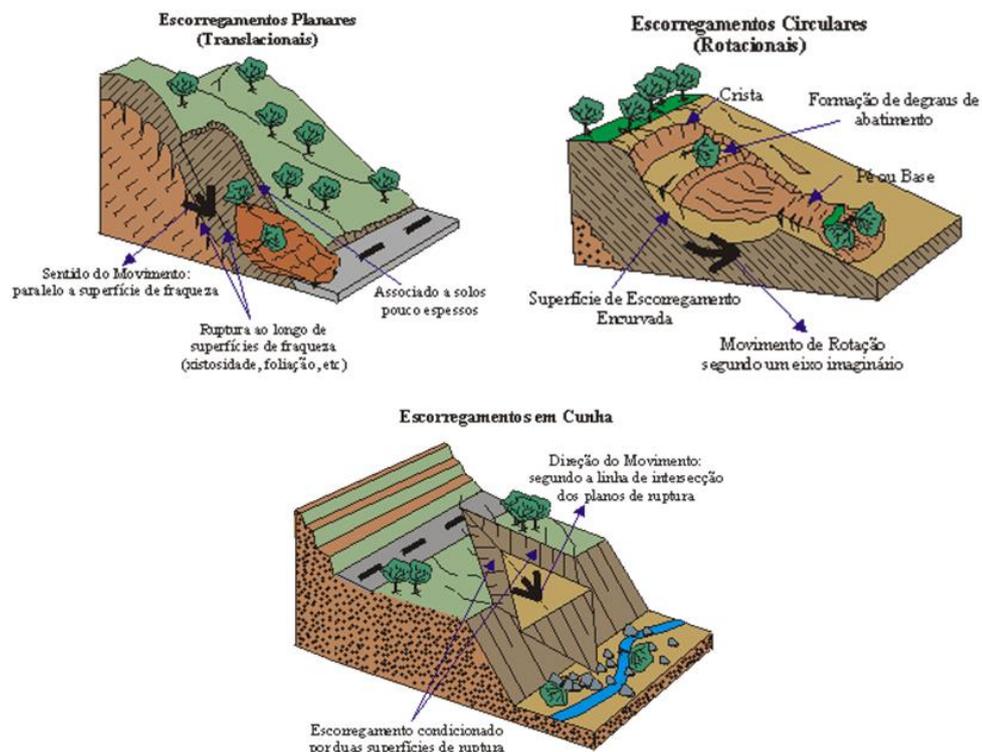
pela sua geometria, juntamente com a atuação da gravidade, para baixo, e para fora da encosta da vertente. (INFANTI JR e FILHO, 1998). Os autores também descrevem diferentes tipos de escorregamentos, conforme Figura 2, devido à natureza do material e sua geometria.

Escorregamento translacional é o tipo mais frequente de movimento de massa, o qual engloba o solo superficial até o contato com a rocha, pela formação de superfícies de ruptura planar, que segue a descontinuidade mecânica/hidrológica do material. (TOMINAGA, 2009).

Nos escorregamentos rotacionais, as superfícies de escorregamentos são curvas, o que ocasiona uma serie de rupturas combinadas e sucessivas. Segundo Machado (2013), o movimento está relacionado com pacotes de solo bem desenvolvido com alto teor de argila.

Nos escorregamentos em cunha, sua ocorrência requer condições ambientais específicas, com relevo regulado por estruturas geológicas, a partir de dois planos de fraquezas, favorecendo o deslocamento de um prisma, ao longo da linha de intersecção das superfícies. (TOMINAGA, 2009).

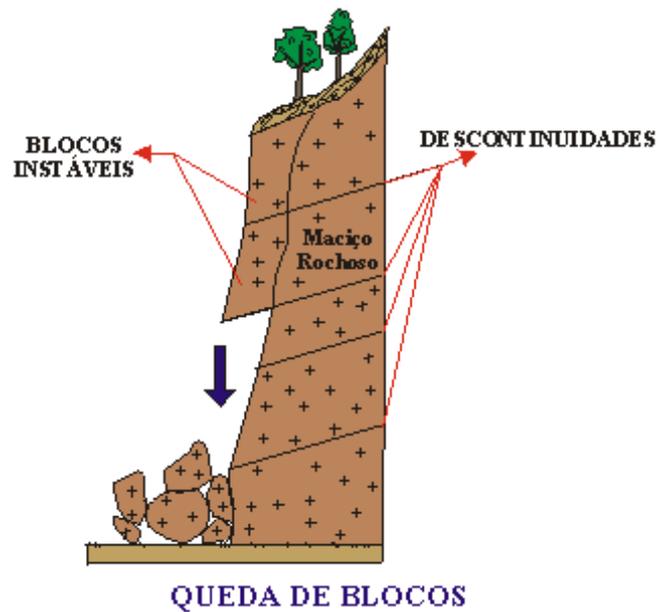
Figura 2 – Perfil esquemático dos tipos de movimento de massa por escorregamento



2.1.3.3 Queda

A queda de blocos é determinada por um movimento gravitacional de massa pela ação da gravidade em queda livre, ilustrado na Figura 3. O intemperismo é o principal agente causador desse tipo de movimento, o qual pode ter, também, relação com a ação de outros movimentos como perda de sustentação pela erosão da água, alívio de tensões pela tectônica, etc. (GUIDICINI; NIEBLE, 1984).

Figura 3 – Perfil esquemático de movimento de queda

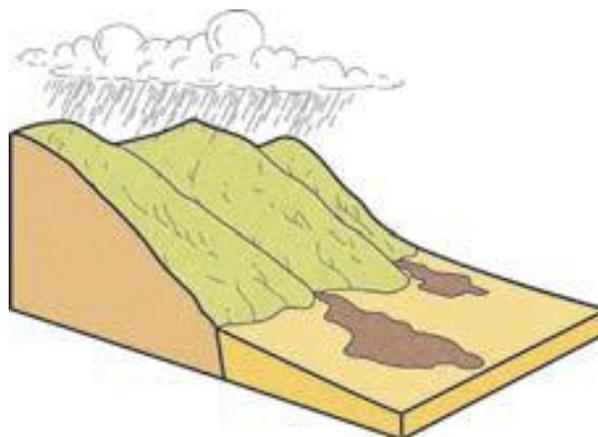


Fonte: UNESP (1999, p. 14).

2.1.3.4 Corrida

São movimentos gravitacionais de massa que ocorrem de forma rápida, tendo grandes dimensões e potencial altamente destrutivo. (INFANTI JR e FILHO, 1998). Como esses movimentos, ilustrados na Figura 4, têm grande aporte de materiais com alta viscosidade e densidade, compreende grandes distâncias com elevada velocidade. Sendo assim, podem gerar consequências maiores que os escorregamentos. (GUIDICINI; NIEBLE, 1984).

Figura 4 – Perfil esquemático de movimento de corrida



Fonte: Tominaga (2009, p. 33).

2.2 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

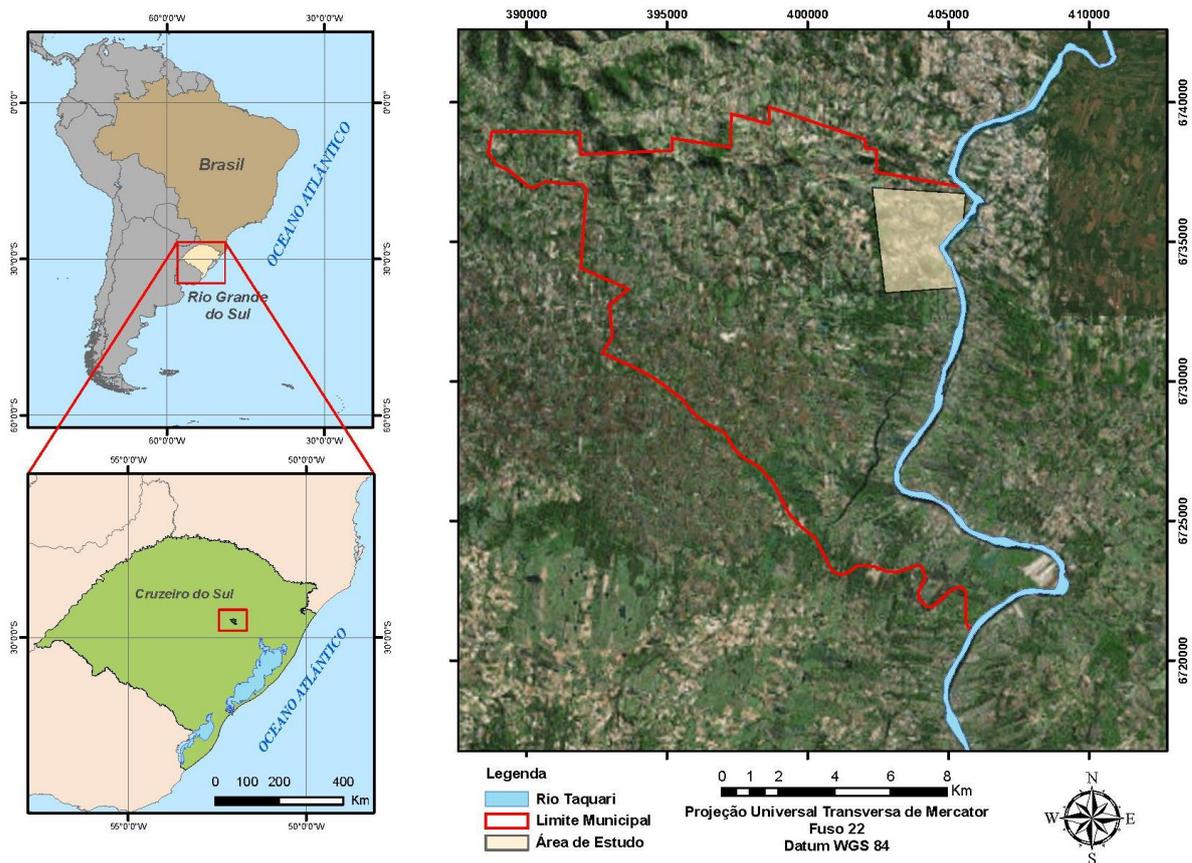
2.2.1 Localização e Vias de Acesso

A área de estudo está localizada na mesorregião Centro Oriental Rio-grandense e microrregião de Lajeado-Estrela, no município de Cruzeiro do Sul, a 123 km de Porto Alegre (Figura 5), com as seguintes coordenadas geográficas: UTM 22J 442634 e 6758110 S, compreendendo uma área territorial total de 155,2 km², e área de estudo de aproximadamente 10 km².

Os limites municipais são Lajeado e Santa Clara do Sul ao norte; ao leste, Estrela e Bom Retiro do Sul; ao sul, Venâncio Aires; e a oeste Mato Leitão. (IBGE, 2016).

As principais vias de acesso são pelas rodovias RS 130 e BR-386.

Figura 5 – Localização da área de estudo



Fonte: Elaborado pela autora.

2.2.2. Clima

Segundo o IBGE (2016), o clima predominante na região sul do Brasil é o temperado, com variação da temperatura ao longo do ano. Na Classificação Climática de Köppen-Geiger (1936), o clima no Estado do Rio Grande do Sul é dividido nos tipos climáticos Cfa (Clima subtropical úmido) e Cfb (Clima temperado), sendo a região do município de Cruzzeiro do Sul indicada como Cfa. Este tipo climático é caracterizado como úmido em todas as estações do ano, com uma média de 19.8°C, podendo no verão atingir temperaturas de 39°C e no inverno temperaturas baixas até 0°C. Ocorre na região uma pluviosidade significativa ao longo das estações, incluindo o mês mais seco, com uma média anual de 1315 mm.

2.2.3 Vegetação

A região onde a área de estudo está inserida tem como Bioma a Mata Atlântica. No sistema fitoecológico brasileiro se caracteriza como Floresta Estacional Semidecidual, caso em que a vegetação é caracterizada pela dupla estacionalidade climática. No entanto, a paisagem atual da Região foi significativamente transformada em paisagem antrópica rural, com cobertura de fisionomias agrícolas. (CORDEIRO; HASENACK, 2009).

No município, a principal atividade econômica é a agricultura com ênfase na produção de milho, mandioca, arroz irrigado, fumo, erva mate, trigo e avicultura de corte e poedeiras, com relevância para a suinocultura e criação de gado leiteiro. (IBGE, 2016).

2.2.4 Geologia

O município de Cruzeiro do Sul está inserido na porção sudoeste da Bacia do Paraná, a qual é uma extensa bacia intracratônica, composta por espessos pacotes sedimentares, tendo o Grupo São Bento no topo, e a Formação Serra Geral, Fácies Gramado e depósitos Aluviais, compondo a geologia do município Cruzeiro do Sul descritas na Tabela 4 e ilustradas no mapa da Figura 6. A Formação Botucatu, recoberta pela Formação Serra Geral, aparece como afloramentos pontuais de arenito, os chamados morros testemunho. (CPRM, 2003).

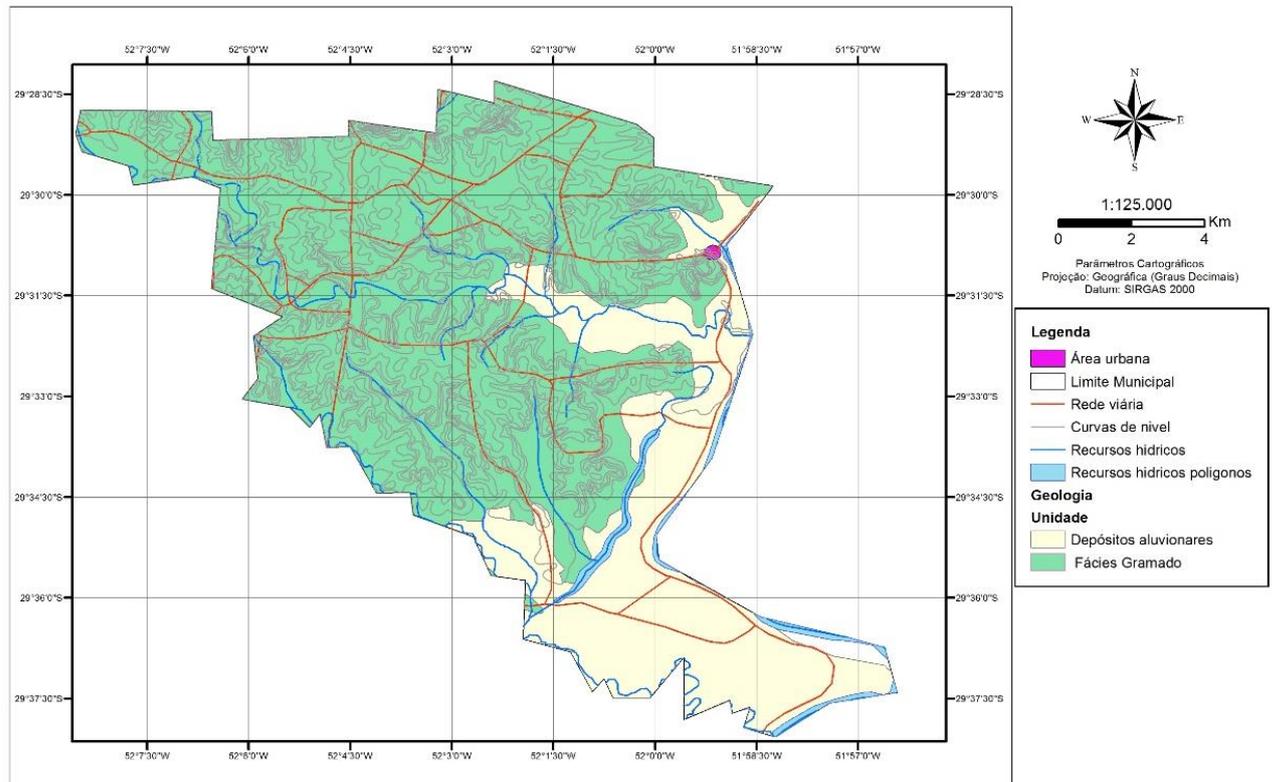
Tabela 4 – Descrição litológica da área

<p><i>Formação Botucatu:</i> arenito fino a grosso, grãos bem arredondados e com alta esfericidade, dispostos em estratificações cruzadas de grande porte. Ambiente continental desértico, depósitos de dunas eólicas.</p>
<p><i>Formação Serra Geral:</i> derrames de basalto e de basalto-andesito de filiação tholeiítica; riolito e riodacito. Intercala camadas de arenito, litarenito e sedimento vulcanogênico.</p>
<p><i>Fácies Gramado:</i> derrames basálticos, granulares finos a médios, melanocráticos, contendo níveis de vesículas bem desenvolvidos no topo e incipientes na base dos derrames.</p>

Depósitos aluviais: areia grossa a fina, cascalho e sedimento siltico-argiloso, em calhas de rios e planícies de inundação.

Fonte: Folha Porto Alegre SH 22 (2003).

Figura 6 – Mapa geológico do município de Cruzeiro do Sul



Fonte: Elaborado pela autora.

Quanto à formação, a Serra Geral inicia a cerca de 135 Ma, sobre o deserto Botucatu, um pacote arenoso com variação de 20 a 240 m de espessura, composto de um mar de areia eólicas, ocorrendo assim sequências de intercalações intertrápicas na porção inferior da formação vulcânica. Constitui, ainda, lentes arenosas descontínuas, modelando o relevo no qual se depositariam os derrames da fase vulcânica da Bacia do Paraná. (WILDNER, 2004).

Segundo Wildner (2004), a fácies Gramado compreende cerca de 16 derrames com espessura máxima de 350 m, caracterizado em ambiente distensivo com ocorrência de lagos de lava que preenchem a paleotopografia. A fácies Gramado aflora, essencialmente, nas bordas sul e sudeste da Bacia do Paraná, com seções ao longo das escapas da serra do Rio Grande do Sul. Inicia em Novo Hamburgo e sobe

em direção à Nova Petrópolis, entre Estrela e São José do Herval. Os primeiros derrames do fácies Gramado é representado por rochas máficas que variam de 12 a 40 m de espessura. Sua geometria tem característica tabular e apresenta, na base, vesículas em fase inicial e bem desenvolvidas no topo, preenchidas por zeólitas (carbonatos e saponita). No centro, os derrames são constituídos por rochas granulares finas a médias, cinza escuro a cinza-esverdeada, com disjunção colunar bem desenvolvida. Contém um arranjo de cristais de plagioclásios, somados ao par de clinopiroxênios (augita-albita), e algumas olivinas, preenchidos por vidro intersertal (textura onde o vidro envolve os cristais).

2.2.5 Geomorfologia

Geomorfologicamente, a área pertence ao domínio da Depressão Central Gaúcha, caracterizada por depressões interplanálticas embasadas pela sequência sedimentar de idade paleozoica e mesozoica da Bacia do Paraná. (DANTAS *et al.*, 2010). Constituído por colinas de baixa amplitude topográfica entre 20 – 50 m, pouco ou muito dissecadas e de Morros Baixos.

Pertencendo ao Domínio da Depressão Central Gaúcha, segundo Dantas et al. (2010), encontram-se nesta área os principais sistemas de drenagem do Estado, quais sejam os rios Jacuí, Ibicuí, Santa Maria e Negro, de padrão dendrítico e subdendrítico, consequência da topografia mais baixa nestas vastas zonas e caracterizado por colinas de baixa amplitude, localmente denominadas coxilhas. Subdividindo o domínio em duas unidades, a área de estudo está inserida na Depressão do Rio Jacuí, entre as cidades de Porto Alegre, Santa Maria e São Gabriel, com uma faixa rebaixada de leste-oeste, contornado ao norte, pelo Planalto-Sul-Rio-Grandense. É comum a formação de morros-testemunhos, apontando assim o recuo erosivo. Ainda temos parcial cobertura pela planície aluvial do rio Jacuí e seus tributários principais, em cotas entre 10 e 150 m.

2.2.6 Pedologia

A área de estudo está inserida na região fisiográfica da Encosta Inferior Nordeste, onde há uma diversidade de solos, com a ocorrência de Neossolos e Chernossolos. Os Chernossolos são derivados de basalto e aparecem associados aos

Neossolos, em várzeas encaixadas dos rios que drenam a Encosta Inferior do Nordeste (rios Topori, Pardo, Taquari, Caí, Sinos e seus afluentes). (KÄMPF, STRECK, 2010).

2.2.7 Águas

Como a região se localiza no domínio da Depressão Central, compreende os principais sistemas de drenagem do Estado, como os rios Jacuí, Ibicuí, Santa Maria e Negro, com uma rede de canais de padrão dendrítico e subdendrítico (DANTAS *et al.*, 2010), pertencendo à Região Hidrográfica da Bacia do Guaíba, a qual drena 30% da área total do Estado. (FIORI *et al.*, 2017). Os principais cursos hídricos do município são o Rio Taquari, Arroio Castelhana e Sampaio, além de uma densa rede de arroios menores.

Convênios entre a CPRM e o Departamento de Recursos Hídricos da Secretária Estadual de Meio Ambiente, em 2005, através do Projeto Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul (MACHADO; FREITAS, 2005), compilaram informações que geraram um mapa separando os aquíferos em 21 sistemas e 6 grupos. Assim sendo, o município está inserido no grupo 4, caracterizado por Aquíferos de média e baixa possibilidade para Águas Subterrâneas em Rochas de Porosidade por Fraturas. Junto com o grupo 2, possuem potencial médio e abrangem 39,9% do Estado. (FREITAS, 2010).

2.3 MAPEAMENTO GEOTÉCNICO

2.3.1 Mapas Geotécnicos

A definição de *carta* e *mapa* trata de documentos cartográficos que são empregados com amplas finalidades, tais como planejamento urbano, territorial e ambiental, desenvolvimento, conservação e avaliação na gestão ambiental, detendo informações convenientes aos aspectos do meio físico, biótico e antrópico.

Por definição do IBGE (1998, p. 19),

Mapa é a representação no plano, normalmente em escala pequena, dos aspectos geográficos, naturais, culturais e artificiais de uma área tomada na superfície de uma Figura planetária, delimitada por elementos físicos, político-

administrativos, destinada aos mais variados usos, temáticos, culturais e ilustrativos.

Carta é a representação no plano, em escala média ou grande, dos aspectos artificiais e naturais de uma área tomada de uma superfície planetária, subdividida em folhas delimitadas por linhas convencionais - paralelos e meridianos – com a finalidade de possibilitar a avaliação de pormenores, com grau de precisão compatível com a escala.

Os mapas geotécnicos são importantes ferramentas nesses processos de planejamento, de avaliação, de conservação e de recuperação das regiões, alavancados pelo crescimento de problemas ambientais, advindos da ocupação urbana desordenada, que necessita cada vez mais de espaço, além do impacto ambiental gerado pela exploração de recursos minerais. (PEJON; FERREIRA, 2015).

A partir do final do século XIX teve início a elaboração de mapas com informações de avaliação, análise, classificação e atributos do meio físico, com diferentes aplicações, caracterizando, assim, os mapas geotécnicos. Como exemplo mais conhecido, o Serviço Geológico dos Estados Unidos da América, na cidade de Nova Iorque, com a publicação de um “relato geológico com a finalidade de um planejamento urbano”. (ZUQUETE; GANDOLFI, 2004, p. 25).

Em muitos países, os mapas geotécnicos são produzidos segundo regulamentação técnica. No Brasil, eles começaram a ser feitos na década de 1960, pelo professor Haberlehner, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), o qual publicou um trabalho no 20º Congresso Brasileiro de Geologia, em Porto Alegre. (ZUQUETE; NAKAZAWA, 1998).

Diversas metodologias, estrangeiras e brasileiras, estão disponíveis na literatura científica, cada uma delas desenvolvida com a perspectiva de atender às necessidades da área em estudo. A metodologia desenvolvida pela IAEG (*International Association of Engineering Geology*), tem o propósito de adequar-se à maioria dos países. No Brasil, diversas instituições vêm atuando nesse campo com diferentes metodologias, como discutido por Zuquete e Gandolfi (2004), que apontam como proposta a metodologia desenvolvida na Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP), baseada nos trabalhos de Zuquete (1987 e 1993). Descrita na Tabela 5, que é amplamente aplicada, descreve uma sequência hierarquizada de mapas e de cartas em oito níveis.

Tabela 5 – Sequência hierarquizada de mapas e cartas

Nível 1 – Fundamental básico	Registra as características dos componentes dos meios físico, biológico e antrópico.
Nível 2 – Fundamental de síntese	Sintetiza as informações dos componentes de uma região sem uma análise para fins específicos.
Nível 3- Carta derivada e interpretativa	Reflete o resultado de uma análise para uma condição pré-definida. Cada unidade delimitada nesse documento é classificada quanto ao comportamento natural do meio diante de uma determinada situação de uso.
Nível 4 – Carta analítica básica	Contempla um conjunto de informações sobre os componentes básicos do meio, permitindo a avaliação da probabilidade de ocorrência de um ou mais processos naturais.
Nível 5 – Carta de prognóstico de riscos, de problemas e de limitações	Reflete a interação de características dos componentes do meio ambiente. São produzidos a partir de cartas anteriores.
Nível 6 – Carta de procedimento	Leva em conta a ocupação e o controle dos riscos. Considera as vantagens e limitações das diferentes zonas.
Nível 7 – Carta de viabilidade (potencial) para os usuários	Deve ter como base todas as informações do meio ambiente, fatores antrópicos e socioeconômicos.
Nível 8 – Carta de orientação conclusivas	Deve permitir a tomada de decisões administrativas ou econômicas. Tem como base os documentos das fases anteriores e os estudos das demandas futuras, como ocupação urbana, água e etc.

Fonte: Pejon e Ferreira (2004, p. 54).

A busca pela composição das características dos atributos do meio físicos, primeiramente, por traços naturais e, secundariamente, pelas técnicas, tem como objetivo alcançar informações por métodos simples e de menor custo, conforme Lollo

(1991). Assim sendo, o mapeamento geotécnico emprega a geomorfologia como ferramenta, de forma oportuna. A descrição do terreno com junção de suas formas por similaridade e associados a matérias presentes, abriu caminho para novos métodos de caracterização do meio físico. (LOLLO,1995).

Esta metodologia foi empregada, primeiramente, no exterior, em países de clima temperado, devido ao maior conhecimento da evolução dos processos de morfogênese e pedogênese. Tal fato implicou na validação dessa metodologia em regiões de clima tropical, o que envolve praticamente todo o território brasileiro. No entanto, Lollo (1995) aplicou a metodologia em uma região com um grande arsenal de material geotécnico já produzido para acurar a sua aplicabilidade em climas tropicais, obtendo um resultado positivo, o qual ampliou as possibilidades de mapeamento geotécnico.

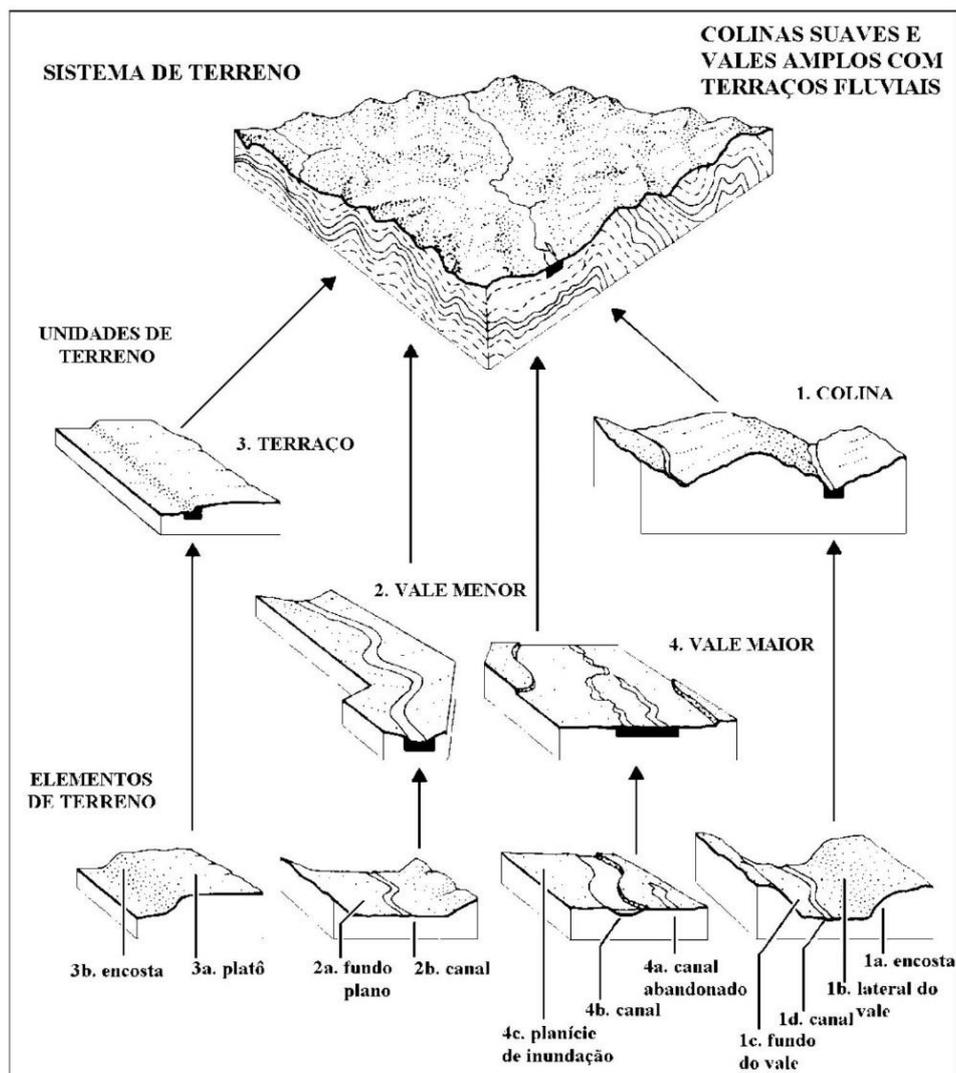
Utilizando-se a geomorfologia como método de avaliação, com base nas feições do relevo denominadas *landforms*, devendo-se observar os processos e as condições atuantes sobre os materiais da superfície terrestre.

2.3.1.1 Conceito de *landforms*

Segundo Lollo (1995), as feições do terreno denominadas de *landforms* caracterizam suas formas naturais, bem como os processos em ação sob os mesmos, o que viabiliza um zoneamento do terreno, da semelhança de suas formas, promovendo uma nova interface de caracterização do meio físico. Esse recurso, designado de avaliação do terreno *terrain evaluation* (com avaliação por meio de trabalho de campo e sensores remotos), proporciona a caracterização das formas do terreno e suas associações espaciais, permitindo a melhor compreensão do modelo evolutivo, sob mesma condição ambiental.

O conceito de *landform* tem uma ampla interpretação e dispersão, o que induz a diversas aplicações para análise da paisagem, alguns de natureza fisiográfica, proporcionando a diferenciação das formas presentes no terreno em unidades cada vez menores, em três níveis hierárquicos, conforme Figura 7. (LOLLO, 1995).

Figura 7 – Níveis hierárquicos de avaliação do terreno



Fonte: Cooke e Doornkamp (1990 apud LOLLO, 1995, p. 30).

Oliveira (2002) descreve os três níveis hierárquicos como: i) sistema de terreno (*land system*), que distingue a maior classe geomorfológica observada; ii) unidade de terreno (*land unit*), que determina a primeira subdivisão do sistema de terreno, em conjunto com atributos que diferenciem as unidades; e iii) elemento de terreno (*land element*), que segue subdividindo a unidade de terreno em porções menores com características de diferentes materiais inconsolidados.

Na geologia da engenharia ocorre uma ampla variação em relação a escalas e propósitos, estabelecendo diversos atributos para cada trabalho. Um exemplo são os trabalhos regionais, em que o foco mais comum são as atividades agrícolas, análise de riscos e implantação de obras. Esta variação faz com que ocorram adaptações dos métodos conforme as demandas. No Brasil, ainda ocorre a compreensão do processo

evolutivo das formas em clima tropical que diferem dos que ocorrem em climas temperados, que são de grande influência. Uma das particularidades é que na região sul, de clima mais frio, retrata processos típicos de clima temperado. (LOLLO, 1995).

Lollo (1995, p.73), em um conceito operacional determina que “*landforms*” é

[...] porção do terreno originada de processos naturais e distinguível das porções vizinhas (demais “*landforms*”) em pelo menos um dos seguintes elementos de identificação: forma e posição topográfica, frequência e organização dos canais, inclinação das vertentes, e amplitude de relevo.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A presente metodologia consiste em trabalho de campo visando a coleta de dados para elaboração de mapas, a avaliação da área com parâmetros geotécnicos correlacionados, procurando associar a susceptibilidade, a urbanização e o grau de risco, lançando uso da correlação com as *landforms* presentes na área. O projeto será dividido em três fases de trabalho.

A presente investigação aplicará a metodologia utilizada em diversos trabalhos em escala regional, de centenas de quilômetros quadrados, o que restringe o estudo ao primeiro nível hierárquico (unidade de terreno), com fotos aéreas em escala de 1:60.000. Entretanto, em escalas menores e com áreas reduzidas, pode-se utilizar somente trabalhos de campo, com foco no terceiro nível hierárquico (elemento do terreno). Além disso, foi utilizada a imagem do relevo sombreado no *software Arcgis*.

Para elaboração de um mapa geotécnico faz-se necessária a correlação de uma gama de atributos a fins específicos ou múltiplos, conforme o objetivo da carta em questão. Como a carta geotécnica busca a caracterização do meio físico, segundo Zuquete e Gandolfi (2004, p. 49), “os atributos devem ser factuais, concisos, acurados, válidos e claramente apresentados.” Com isso, os autores indicam um quadro esquemático (Tabela 6) para ser estudado antes do início do mapeamento geotécnico.

A utilização dos atributos ocorre em variados momentos, em conformidade ao objetivo e aos diferentes usuários do documento/mapa em questão. Sendo assim, a forma de obtenção e o uso dos atributos deve demonstrar informações claras e interpretativas para os diversos profissionais que acessem este documento. (ZUQUETE e GANDOLFI, 2004).

Tabela 6 – Esquematização do estudo prévio ao mapeamento geotécnico

Objetivos	Específico Múltiplo
Escala	1:500 1:100.00
Atributos	Quais?

Obtenção de atributos	Como? Onde? Quanto?
Análise e tratamento dos dados	Tipos? Recursos?
Síntese	Como? Critérios?

Fonte Zuquete e Gandolfi (2004, p. 49).

Zuquete e Gandolfi (2004) consideram que para que o estudo do meio físico seja utilizado como subsídio para prevenção e solução dos problemas ambientais, faz-se necessária a seleção de atributos pertinentes ao meio físico e suas relações com o meio biótico e antrópico, mantendo atenção ao público alvo que irá utilizar estes documentos geotécnicos. Assim, para atender a demanda na elaboração destes documentos, os autores compilaram um conjunto de atributos abrangentes ao estudo do meio ambiente. Para tanto, levaram em consideração as características e interações de ocupação no Brasil, atendendo as classificações necessárias para a confecção de mapas que respondam aos oito níveis hierárquicos descritos na Tabela 7. Esse conjunto compreende 99 atributos que são classificados tanto por suas características como por suas aplicações, em: i) Geotécnico sendo usado diversamente, desde o âmbito básico ao específico da linha ambiental; ii) Geotécnico-ambiental usado somente no âmbito da linha ambiental; e, iii) Complementar, de uso na classificação das cartas de nível hierárquicos VI, VII e VIII. Para este trabalho utilizou-se atributos relevantes ao objetivo, de caracterização de MMG (Movimento de Massa Gravitacional). Assim, foi elaborada a Tabela 7, com 27 atributos. Com a metodologia utilizada, que identifica as feições do terreno, os atributos relacionados à geomorfologia foram os mais aplicados.

Tabela 7 – Tabela de atributos pertinentes

COMPONENTE	ASPECTO	N	ATRIBUTO	PARÂMETRO	REPRESENTAÇÃO	FORMAS DE OBTENÇÃO	DINÂMICA DO ATRIBUTO NO BANCO DE DADOS
Águas	Superficiais	3 GA	Área de Acúmulo de água (temporário e permanente)		Distribuição Dimensões	Fotointerpretação	Lenta para condições naturais Rápidas para condições antrópicas
		5 G	Bacias hidrográficas desde 1° ordem (Strahler)		Mapa	Fotointerpretação	Lenta
		6 G	Número de Canais/KM		Zonas Bacias	Fotointerpretação	Lenta
	Subterrâneas	18 G	Escoamento básico		Zonas e características	Relativa Estimativa Medidas de Campo	Potencial Atual
		20 GA	Áreas de descargas		Distribuição Zonas	Trabalho de Campo Fotointerpretação Modelos	Lenta
Geomorfologia	Morfometria	22 G	Declividade		Classes de valores Zonas	Trabalho de Campo Fotointerpretação Gabinete	Lenta - natural Rápida - antrópica
		23 G	Direção e sentido da maior declividade		Registro vetorial Zonas	Fotointerpretação Gabinete	Lenta
	Morfologia	24 GA	Formas de relevo		Tipos Distribuição	Fotointerpretação (fotos Antigas)	Lenta
		25 G	Formas das encostas ou das feições do terreno (vertical e longitudinal)		Combinações	Fotointerpretação	Lenta-natural Rápida-antrópica
		26 G	Comprimento das encostas ou das formas de relevo		Classes de valores	Fotointerpretação	Lenta
	Geologia	Substrato rochoso	27 G	Tipo rochoso / grupo litológico	Resistência mecânica Mineralogia Cimento Arranjo	Tipos Grupos minerais	Fotointerpretação Trabalho de campo
28 G			Litologia	Resistência mecânica Mineralogia Cimento Arranjo	Tipos Grupos minerais	Trabalho de campo	Lenta
Evidências de processos		38 G	Deposição (índices de assoreamento)	Frequências Intensidade (área afetada)	Distribuição Intensidade Volume	Fotointerpretação Trabalho de campo	Variável
		42 GA	Alterações naturais nos canais de drenagens	Frequências Intensidade (área afetada)	Distribuição Dimensões	Fotointerpretação Trabalho de campo	Rápida
		43 G	Zonas de inundações	Frequências Intensidade (área afetada)	Distribuição Intensidade	Previsões Registros	Variável

COMPONENTE	ASPECTO	N	ATRIBUTO	PARÂMETRO	REPRESENTAÇÃO	FORMAS DE OBTENÇÃO	DINÂMICA DO ATRIBUTO NO BANCO DE DADOS
	Materiais inconsolidados atributos gerais	44 G	Movimento de massa (escorregamentos, <i>creep</i> , etc.)	Frequências Intensidade (área afetada)	Distribuição Tipos Dimensões	Fotointerpretação Trabalho de campo	Rápida
		45 G	Origem	Residual, retrabalhado	Distribuição Zonas (unidades)	Fotointerpretação Trabalho de campo Laboratório	Lenta
		47 G	Distribuição (em área)		Zonas (unidades)	Fotointerpretação Trabalho de campo	Lenta
		48 G	Presença de matações	Tamanho (maior dimensão) Frequência Profundidade	Dimensão Profundidade Frequência	Fotointerpretação Trabalho de campo	Lenta
Biológico	Corpos d'água	76 C	Tipos e distribuição			Fotointerpretação Trabalho de campo	Média
	Vegetação Natural	80 GA	Classificação quanto à taxa de massa verde		Zonas Taxas	Trabalho de campo Escritório	Rápida
	Vegetação Antrópica	83 GA	Classificação quanto à taxa de massa verde		Zona Taxas	Trabalho de campo	Rápida
Feições do Terreno		70 G	Área de aterro e entulho		Distribuição	Fotointerpretação Trabalho de campo	Lenta
		73 G	Exploração minerais		Distribuição Dimensões Tipos	Fotointerpretação Trabalho de campo	Rápida
Climático		87 GA	Temperatura		Zonas e classes	Registro Medidas	Lenta
		93 G	Intensidade pluviométrica	Por evento	Zonas e classes	Registros Medidas	Lenta
Socioeconômicas	Usos	99 GA	Usos atuais do solo, indústrias e tipos de rejeitos, postos de gasolina, dutos		Tipo Distribuição	Trabalho de campo Registros	Rápida

Fonte: Zuquete e Gandolfi (2004, p. 79-85), adaptado pela autora.

* Classificação do atributo de Geotecnia básica (G), Geotecnia Ambiental (GA) e Complementar (C).

3.1 MATERIAL CARTOGRÁFICO

Na primeira fase do presente trabalho, que consistiu em revisão bibliografia, escolha de atributos e base cartográfica, foram gerados mapas da área investigada. Foram utilizados para a geração da base cartográfica, os dados disponíveis na página da CPRM no GeoSBG, imagens ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*), além de imagens de satélite do *Google Earth*. As informações levantadas foram compiladas usando as ferramentas do *Software Arcgis* versão 10.3, gerando mapas de declividade e de relevo sombreado.

3.2 TRABALHO DE CAMPO

Após a primeira fase de trabalho, definiram-se os pontos de campo, fazendo uso de imagens de satélite do *Google Earth*, junto aos locais apontados pelo funcionário da prefeitura no dia do campo, onde ocorrem os MMG. A área delimitada para o estudo compreende quase que totalmente de área urbana do município, com grande quantidade de vegetação nas encostas, disponibilizando assim poucos afloramentos. A região também conta com grande área de cultivo de agricultura no entorno da área urbana.

3.3 IDENTIFICAÇÃO DAS FEIÇÕES DO TERRENO

Na terceira fase do estudo, com a junção de todo material levantado, foram identificadas as formas de terreno, compilando as imagens do *Google Earth*, a base cartográfica e dados do relatório da CPRM, os mapas de declividade, de relevo sombreado e o trabalho de campo. Completando a metodologia para a confecção dos mapas de *landforms* da área de estudo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 MAPA DE DECLIVIDADE

Para a elaboração dos mapas de declividade e de relevo sombreado se optou por usar imagens de satélite ao invés das curvas de nível da carta do exército devido ao melhor resultado na classificação da declividade e conseqüentemente do relevo. Utilizado imagens do satélite ALOS (2009), qual seja *Advanced Land Observing Satellite*, e o sensor PALSAR (*Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*) com resolução de 12,5 m.

Com as imagens de satélite foi gerado um MDE (Modelo digital de elevação), que é uma representação matemática contínua da topografia do terreno distribuindo espacialmente as variações de altitude numa área definida sobre um plano cartográfico, num conjunto de coordenada planialtimétricas. Com o MDE foi possível gerar e classificar o mapa de declividade da área (Figura 8).

Declividade é a inclinação da superfície do terreno em relação à horizontal, dada pelo ângulo de inclinação da superfície da área em relação à horizontal. Os valores de declividade variam de 0° a 90° e podem ser expressos em porcentagem.

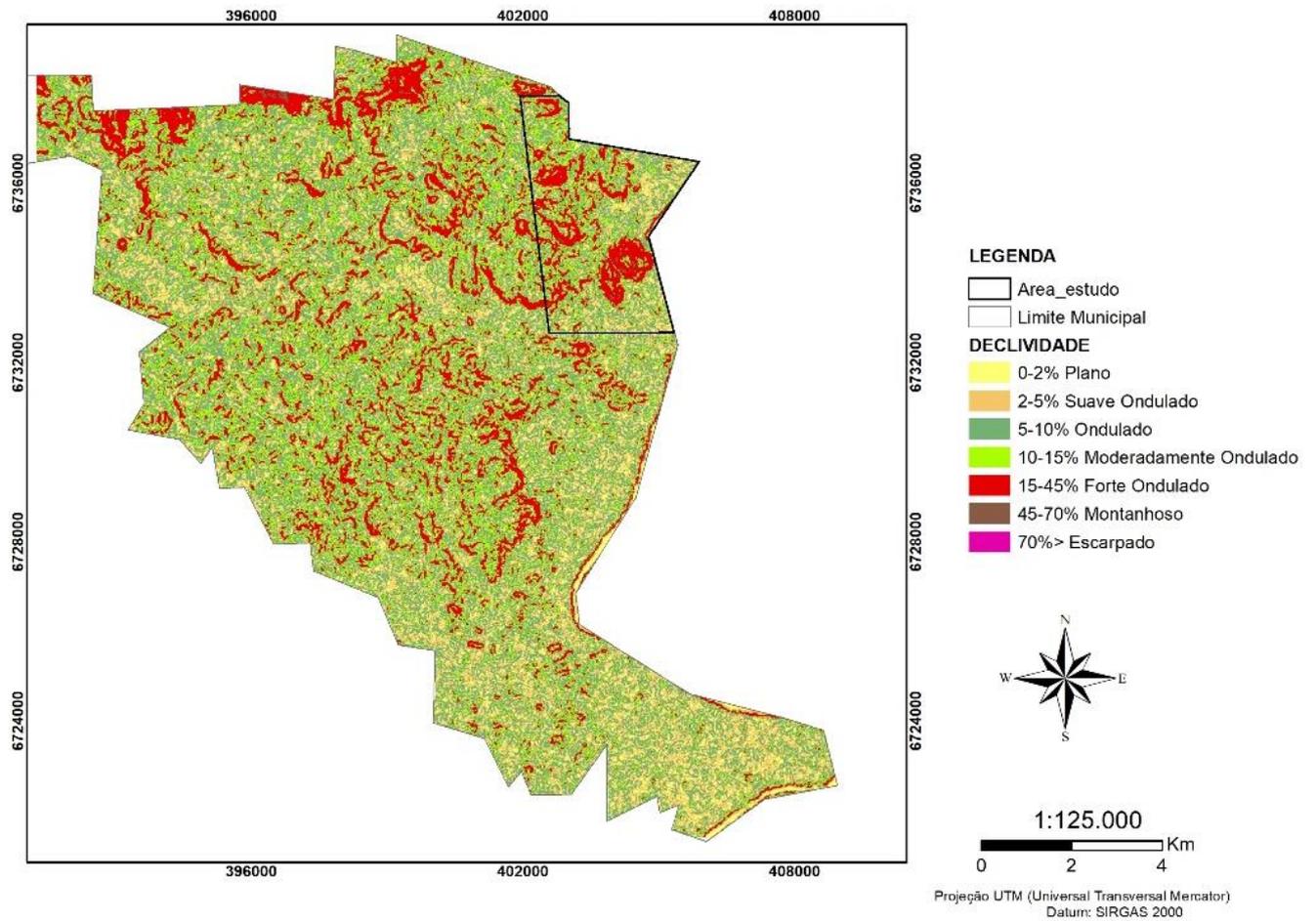
As classes da declividade foram calculadas conforme a classificação do INCRA (2006), devido a estreita relação com as formas de relevo predominantes ao uso e manejo do solo. As áreas que ficaram com uso restrito têm entre 25° a 45° de declividade e de área de proteção permanente (APP) > 45°.

Tabela 8 – Classes de declividade

Graus	Porcentagem	Classes
0° a 1°8'45"	0-2%	Plano
1°8'45" a 2°51'45"	2-5%	Suave ondulado
2°51'45" a 5°42'38"	5-10%	Ondulado
5°42'38" a 8°31'51"	10-15%	Moderadamente ondulado
8°31'51" a 24°13'40"	15-45%	Forte ondulado
24°13'40" a 34°59'31"	45-70%	Montanhoso
> 34°59'31"	>70%	Escarpado

Fonte: INCRA (2006, p. 29).

Figura 8 – Mapa de declividade

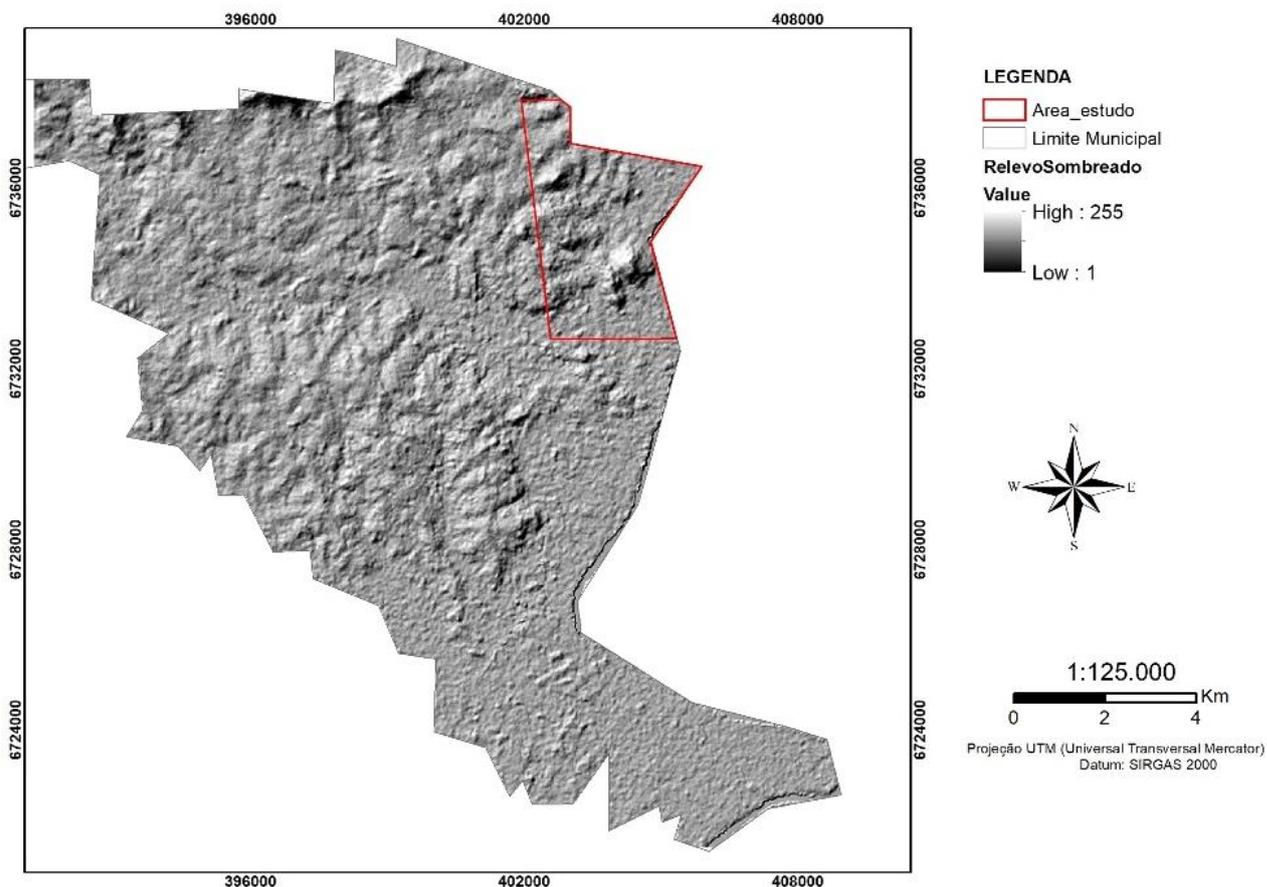


Fonte: Elaborado pela autora.

4.2 MAPA DE RELEVO SOMBREADO

Relevo sombreado é um mapa que utiliza luz e sombra para proporcionar uma aparência tridimensional. O produto é uma única imagem de cor cinza refletindo a valor do cinza dos pixels (Figura 9).

Figura 9 – Mapa do relevo do município destacando a área de estudo



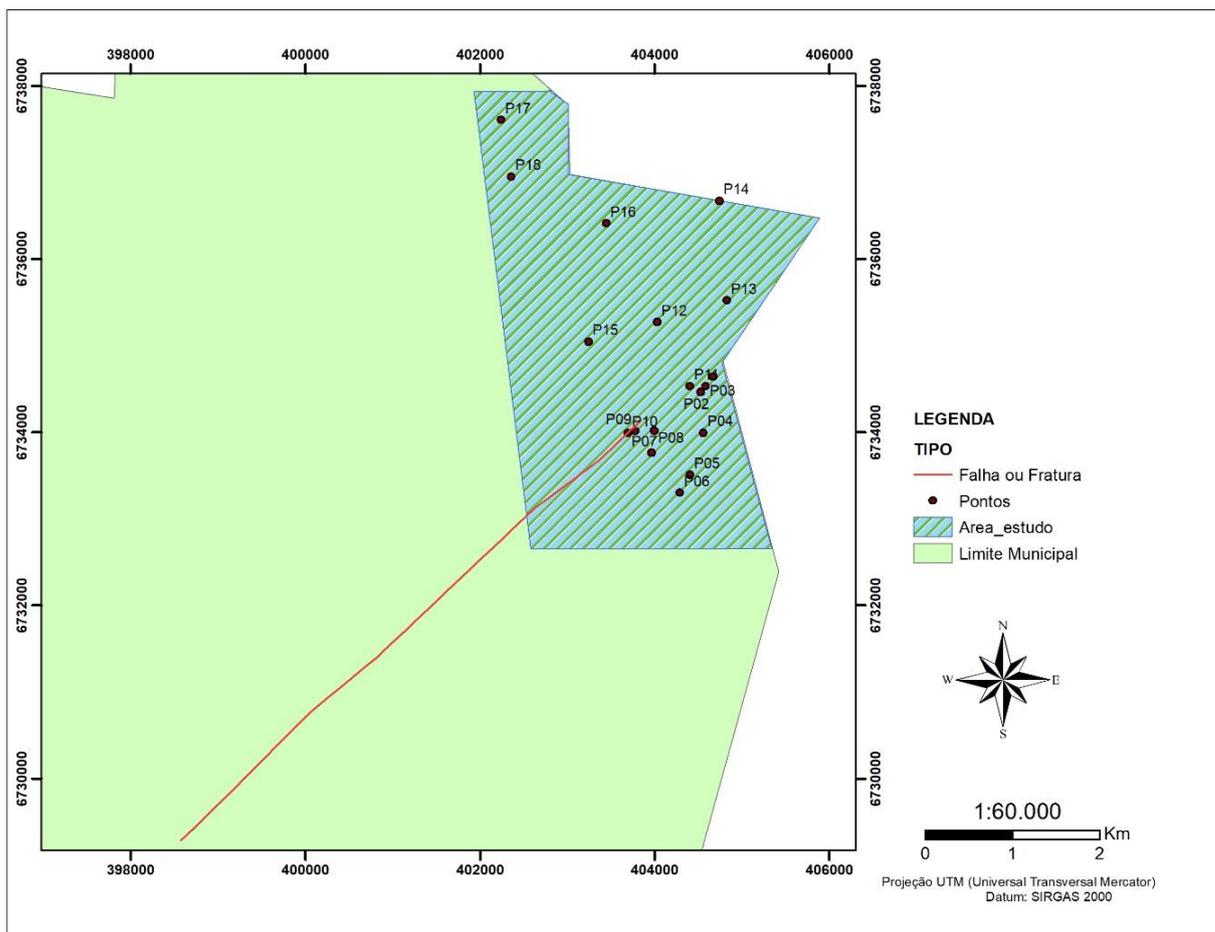
Fonte: Elaborado pela autora.

4.3 ATIVIDADE DE CAMPO

Foi realizada saída de campo em dezoito de maio de 2018, sendo percorridos 18 pontos dentro da área de estudo, na região urbana do município. A Figura 10 apresenta os pontos mapeados em campo, apresentando os limites da área de estudo, mostrando assim a distribuição espacial desses pontos.

Na sequência do presente trabalho, serão apresentadas as principais características dos pontos observados em campo, através dos atributos utilizados neste trabalho.

Figura 10 – Mapa com a localização dos pontos de campo



Fonte: Elaborado pela autora.

Ponto 1 – área urbana, localizado no centro da cidade e na base do morro, em um prédio com cerca de 20 anos. Localização do local onde, segundo a prefeitura, se observa o MMG, com as informações que seguem.

Antigamente no local, por motivos de reparos na ponte que liga o município de Cruzeiro do Sul ao de Lajeado, foi instalada uma balsa para travessia.

Na construção observam-se rachaduras nas paredes externas, assim como na fundação um deslocamento de aproximadamente 10cm. Conforme informou um funcionário da prefeitura que acompanhou até o local, a construção está no momento desabitada, por segurança.

O mesmo também informou que a rua com pavimentação necessita de reparos frequentes, principalmente após períodos de muita chuva.

Ponto 2 – ponto retilíneo ao ponto um, subindo na encosta do morro, área urbanizada, rua pavimentada, com abaulamento junto ao cordão e poste e luz. Do outro lado da rua há grande quantidade de vegetação e inclinação superior a 30°. Conversado com um cidadão, morador da região há 47 anos, o qual informou que no local onde ocorre o MMG, havia uma estrada não pavimentada, utilizada para transportar material retirado de uma antiga pedreira no morro. Ele acrescentou que neste local foram depositados outros materiais “solo”, o que caracterizaria um aterro.

Ponto 3 – área urbana, rua pavimentada, entre os pontos 1 e 2, um dos locais sinalizados em 2015 pela defesa civil, com evidências de MMG, está em fase final de reparos em uma das calçadas e na outra observado rachaduras na pavimentação.

Pontos 4 e 11 – Locais com acesso pavimentado na encosta do morro, com relevo íngreme, presença de vegetação densa e algumas moradias.

Pontos 5, 6,12,13,17 e 18 – locais de menos elevação, relevo suavemente ondulado, região de produção agrícola: soja, mandioca, gramíneas, com solos bem desenvolvidos.

Ponto 7 – área em franco processo de urbanização, mais elevada e íngreme, próxima a uma ocupação ilegal na vertente de um morro, com solos róseos mais arenosos.

Ponto 8 – antiga pedreira de extração de arenito.

Pontos 9 e 10 – pontos que correspondem à falha, segundo base cartográfica do CPRM, há estradas não pavimentadas, grande quantidade de vegetação densa, no ponto 9 um corte da encosta com afloramento de 6m de altura, apresentando solo desenvolvido na parte inferior, e na superior um bloco de arenito com 2m de espessura. No ponto 10 há um corte de estrada com solos bem desenvolvidos, e presença de moradias.

Ponto 14 – antiga cava de extração de saibro, utilizada como local de aterro de caliças e material de varrição urbana.

Ponto 15 – área urbanizada, relevo ondulado e média elevação.

Ponto 16 – corte beira de estrada, relevo plano e maior altitude.

4.4 MAPA DE *LANDFORMS*

A apresentação dos resultados se dará através de mapas com as feições de terreno identificadas, junto com uma síntese do meio físico e com as informações mais relevantes.

O sistema de terreno foi assim identificado:

a) Sistema A

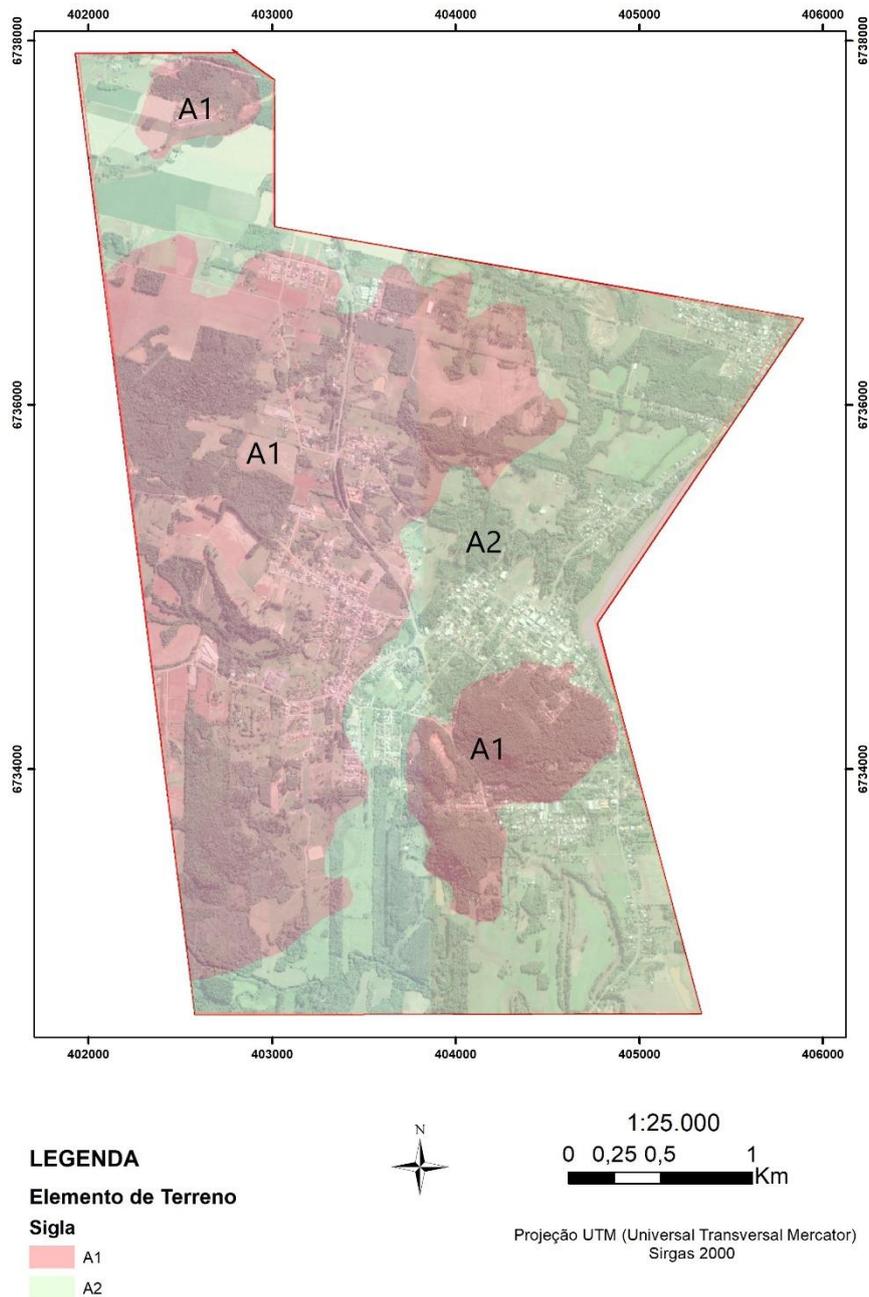
Composto por morros baixos e colinas, com vertentes convexo-côncavas, topos ondulados, vales fechados, canais de média frequência e padrão dendríticos.

b) Duas Unidades de Terreno:

A1 – morros baixos e colinas, maior altitude, com declividades em sua maioria de 20%, topos alongados e baixa frequência de canais. As formas presentes nas maiores altitudes, nestas unidades, junto aos trabalhos de campo permitem afirmar que o substrato rochoso do mesmo é composto de arenitos da Formação Botucatu.

A2 – vales fechados, declividades até 15%, frequência média de canais, áreas planas propícias à inundação.

Figura 11 – Mapa com as unidades de terreno



Fonte: Elaborado pela autora.

c) Cinco Elementos do Terreno:

A1a – Topo de morro ondulado, com maior declividade, baixa frequência de canais.

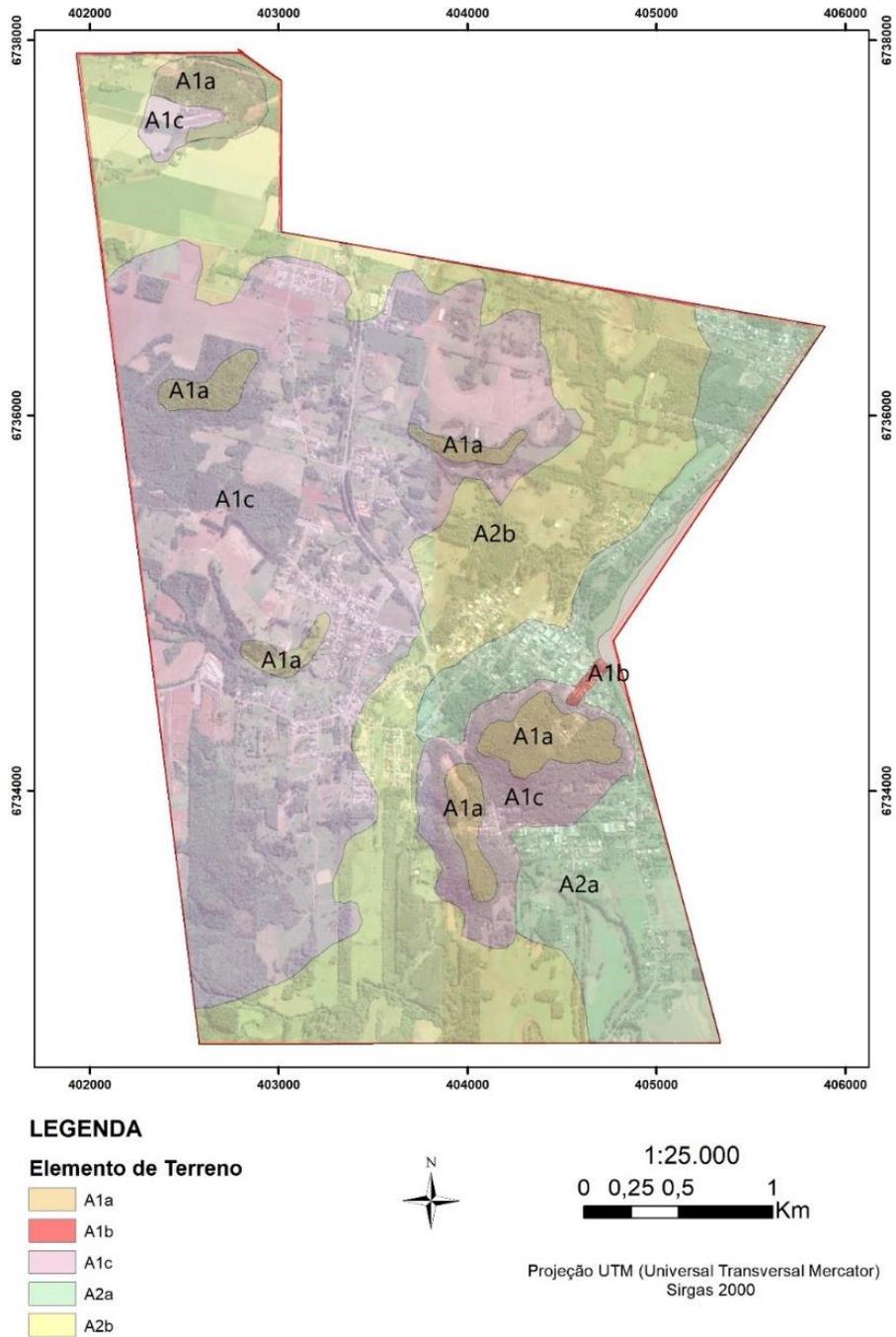
A1b - Encosta retilínea com evidências de MMG.

A1c – Colinas convexo-côncavas, formas mais suaves, com baixa frequência de canais.

A2a – Vales médios, com áreas planas propicias a inundações, presença de solos bem desenvolvidos, pouca frequência de canais.

A2b - Vales médios, com solos bem desenvolvidos, com média frequência de canais.

Figura 12 – Mapa com os elementos do terreno



Fonte: Elaborado pela autora.

A utilização da geomorfologia na caracterização e no zoneamento de áreas se mostra eficaz e satisfatória, podendo ser aplicada como pressuposto para qualquer processo de avaliação para ocupação dessas áreas.

O trabalho desenvolvido na área de estudo não tem comparativo devido à ausência de trabalhos anteriores da região. Por ser de pouca extensão e apresentar poucas diversidades de formas de terreno, a área alvo desta pesquisa possibilitou o estudo sem o uso de fotografias aéreas. Ocorre na região uma falha/fratura com orientação SO-NE, mapeada pelo CPRM, retilínea ao local do MMG que, por consequência, acompanha a geometria do Rio Taquari, podendo ser fator relevante ao MMG.

O local onde ocorreram os MMG está em uma área que já sofreu modificações antrópicas, e sua ocupação e do entorno, ocorrerem sem os devidos cuidados, conforme relatou o funcionário da prefeitura, faz com que a área continue alvo de novos e mais detalhados estudos.

Os MMG ocorrem localmente entre as unidades de terreno A1 e A2, compreendendo uma área com risco de inundação que se estende até a encosta do Morro do Cruzeiro. Foi classificado com elemento A1b por suas características mais próximas a esta unidade de terreno.

5 CONCLUSÃO

A ação antrópica é um fator importante no desencadeamento de MMG, uma situação presente na área de estudo deste trabalho. Geralmente ocorre com o aumento da urbanização e a ocupação de encostas, caracterizando um risco geológico. Cabe ao órgão público os cuidados durante a expansão da área urbana, realizar as devidas exigências e fiscalização com relação aos cuidados com fundações, drenagem do solo, cortes de aterro e técnicas adequadas de contenções em obras próximas a encostas. Essas são ações mitigatórias para este tipo de desastres naturais.

O MMG caracterizado na área de estudo é um dos mais lentos descritos na literatura. No entanto, em função da saturação do solo, pode assumir maior velocidade, oferecendo grande risco para construções existentes na área. Este fato deve-se pela região apresentar tendência para inundações, por esta próxima a borda do rio Taquari.

Na hierarquização de mapas proposta na metodologia de Zuquete e Gandolfi (2004), utilizada no presente trabalho, o mesmo se encontra no Nível 1 – Fundamental Básico, em que estão inclusos os mapas topográfico, de declividade, feições do terreno (*landforms*), substrato rochoso, material inconsolidado, de águas, de inventário, e outros relativos à caracterização do meio físico, biológico e antrópico. O conjunto destes mapas pode ser utilizado como base no desenvolvimento dos próximos níveis hierárquicos.

Os mapas de *landforms* podem ser utilizados como mapa geotécnicos de zoneamento, agregando como ferramenta no planejamento de ocupação das áreas. Eles permitem uma coleta de dados em curto espaço de tempo, com baixo custo. No entanto, devido à ausência de trabalhos anteriores pertinentes à geotécnica, faz-se necessário o aprofundamento nos estudos desta temática. Sugere-se, para tanto, que haja incentivo por parte do poder público para a realização de novas pesquisas científicas, visando a prevenção, a mitigação e o gerenciamento dos desastres naturais.

Apesar de a região em estudo não apresentar um grau de risco elevado para desastres, a área em que ocorre o MMG é quase que totalmente urbanizada, o que deveria ser uma preocupação para o poder público. Faz-se necessário destacar que,

no decorrer desta investigação, observou-se que o acelerado processo de urbanização, além de provocar a degradação ambiental, também põe em risco a população. Todo o material científico produzido durante essa pesquisa tem o potencial de servir de subsídio para o poder público, contribuindo de maneira importante na prevenção dos desastres naturais.

A identificação das feições de terreno não sugere outros locais com MMG, ficando os mesmos localizados somente no elemento de terreno A1b, delimitando assim a menor feição identificado no presente trabalho, com características similares a outros elementos identificados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCÁNTARA – AYALA, I. **Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries**. Massachusetts, USA. *Geomorphology* 47 p. 107-124. 2002.

ALOS - Advanced Land Observing Satellite. 2009. Disponível: <https://ursa.aadn.alaska.edu/>. Acesso em abril 2018.

AUGUSTO FILHO, e VIRGILIO, J. C. **Estabilidade de Taludes**. In: OLIVEIRA, A.M.S. & BRITO, S.N.A. (Eds.). *Geologia de Engenharia*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), cap. 15, p. 243-269. 1998.

CASTRO, L. A. **Manual de planejamento em defesa civil**. Brasília. Imprensa Nacional. 1999. Disponível em: <http://cidbimena.desastres.br/docum/crid/Febrero2004/pdf/por/doc13769/doc13769-1a.pdf>. Acesso em: 10 abril 2017.

CERRI, L.E.S; e AMARAL, C.P. **Riscos Geológicos**. In: OLIVEIRA, A.M.S. & BRITO, S.N.A. (Eds.). *Geologia de Engenharia*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), cap. 18, p. 301-310. 1998.

CORDEIRO, J. L.P; HASENACK, H. **Cobertura vegetal atual do Rio Grande do Sul**, cap. 23 p 285 - 299. 2009.

CPRM. 2003. Disponível em <<http://www.cprm.gov.br/publique/GestaoTerritorial/Geologia-de-Engenharia-e-Riscos-Geologicos/Setorizacao-de-RiscosGeologicos-4138.html>>. Acesso em março de 2016.

CPRM. 2003. Folha Porto Alegre SH 22.

DANTAS, M.E; et al. **Origem das Paisagens**. In VIERO, A.C. *Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre. CPRM. Cap. 3, p 35-50. 2010.

FIORI, T.P; et al. **Atlas FEE**. Fundação de Economia e Estatística Siegfried Emanuel Heuser-Coordenação de Mariana Lisboa Pessoa. Porto Alegre. 2017.

FREITAS, M.A. **Recursos Hídricos Subterrâneos**. In VIERO, A.C. *Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre. CPRM. Cap. 5, p 71-85. 2010.

GUIDICINI, G. e NIEBLE, C. M. **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação**. São Paulo: 2a ed. Edgard Blücher, 194p. 1984.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2016. Disponível em <[http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/dtbs/riogrande do sul/cruzeirodosul.pdf](http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/dtbs/riogrande_do_sul/cruzeirodosul.pdf)>. Acesso em abril de 2016.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Noções Básicas de Cartografia*. Rio de Janeiro. 1998.

INCRA – Instituto Nacional de Reforma Agrária. Manual de obtenção de terras e perícia judicial. 140p. 2006.

INFANTI JUNIOR, N. e FORNASARI FILHO, N. **Processos de Dinâmica Superficial**. In: OLIVEIRA, A.M.S. & BRITO, S.N.A. (Eds.). Geologia de Engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), cap. 9, p.131-152. 1998.

INPE. SILVIA M. S. **Desastres Naturais**: conceitos básicos. I Escuela de Primavera Sobre Soluciones Espaciales Para El. 2008. Disponível em <http://www.inpe.br/crs/crectalc/pdf/silvia_saito.pdf>. Acesso em 08 abril 2017.

KÄMPF, N; STRECK, E.V. Solos. In VIERO, A.C. **Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre. CPRM. Cap. 4, p 51-70. 2010.

KOBIYAMA, M.; et al. **Prevenção de Desastres Naturais**: Conceitos Básicos. Curitiba: Ed. Organic Trading. 109 p. 2006. Disponível em: <http://www.labhidro.ufsc.br/publicacoes.html>. Acesso em 02 abril 2017.

KOPPEN, W. **Das geographischa System der Klimate**. In: KOPPEN, W.; GEIGER, G. (Ed.). Hamdbuch der Klimatologie: Gebr. Borntraeger. P. 1-44. 1936.

LOLLO, J. A **Caracterização Geotécnica da Área de Expansão Urbana de Ilha Solteira**(SP) Com o Uso de Formas de Relevo. 3º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica. Florianópolis, Santa Catarina. 1998.

LOLLO, J. A. **O Uso da Técnica de Avaliação do Terreno no Processo de Elaboração de Mapeamento Geotécnico**: Sistematização e Aplicação para a Quadrícula de Campinas (SP). Tese de doutorado - EESC/USP. São Carlos, São Paulo. 1995

LOLLO, J.A. **Mapeamento Geotécnico da Folha de Leme**: utilização da geomorfologia para a caracterização preliminar de unidades geotécnicas. Dissertação de mestrado- EESC/USP. São Carlos, São Paulo. 1991.

MACHADO, J. L. F.; FREITAS, M. A. **Projeto Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul**: Porto Alegre: CPRM. Mapa escala 1:750.000. 2005.

MACHADO, M. **Caracterização dos Movimentos Gravitacionais de Massa por Técnicas Mineralógicas no Bairro Belchior Baixo, Gaspar, SC**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2013.

MARCELINO, E. V. **Desastres Naturais e Geotecnologias**: Conceitos Básicos. Caderno Didático nº 1. INPE/CRS. Santa Maria. 2008.

OLIVEIRA, C. M. G. **Carta de Risco de Colapso de Solos para a Área Urbana do Município de Ilha Solteira – SP**. Dissertação de mestrado - UNESP. Ilha da Solteira, São Paulo. 2002.

PEJON, J.O. E FERREIRA, M. D. **Mapas geotécnicos e geoambientais**. *In:* ZUQUETE, L. Geotecnia Ambiental. Rio de Janeiro: Ed. Campus, cap. 3, p.47-80. 2015.

PREFEITUA MUNICIPAL CRUZEIRO DO SUL. Disponível em <<http://www.cruzeiro.rs.gov.br/dados-oficiais/>. Disponível em: Acesso em 03 de junho 2017.

TOMINAGA, L. K. **Desastres Naturais**. São Paulo. Instituto Geológico. 2009.

UNDP. 2004. Disponível em <http://hdr.undp.org/sites/default/files/reports/265/hdr_2004_complete.pdf. Acesso em maio de 2017.

UNESP. Estudo de Processos Naturais no Brasil. 2001. Disponível em: <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/riscos/risco11.html>. Acesso em junho de 2017.

UN-ISDR – United Nations International Strategy for Disaster Reduction – Living with Risk. A Global Review of Disaster Reduction Initiatives. United Nations. Geneva, Suíça. 2002. Disponível em http://www.unisdr.org/eng/about_isdr/bd-lwr-2004-eng.htm.

VIVANCO, J. M. C. **Caracterização Preliminar do Meio Físico a partir de dados do Projeto Topodata**: Caso da Área de Expansão Urbana de ilha solteira (SP). Tese – UNESP. Ilha Solteira. São Paulo. 2013.

WILDNER, W. **Estratigrafia do Magmatismo Serra Geral na Bacia do Paraná** – Conceitos básicos e divisão Faciológica. Reunião Aberta da Comissão Brasileira de Estratigrafia / SBG, Porto alegre, p. 63-75. 2004.

ZUQUETE, L. V. e GANDOLFI, N. **Cartografia Digital**. São Paulo: Ed. Oficina de Textos. 2004.

ZUQUETE, L. V. e NAKAZAWA, V. A. **Cartas de Geologia de Engenharia**. *In:* OLIVEIRA, A.M.S. & BRITO, S.N.A. (Eds.). Geologia de Engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), cap. 17, p.283-300. 1998.