

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

**TESE DE DOUTORADO**

**METODOLOGIAS PARA MAPEAMENTO DE SUSCETIBILIDADE A  
MOVIMENTOS DE MASSA**

**EDUARDO SAMUEL RIFFEL**

**ORIENTADOR: PROF. DR. LAURINDO ANTONIO GUASSELLI**

**COORIENTADOR: PROF. DR. LUIZ A. BRESSANI**

**PORTO ALEGRE, RS  
2017**

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

**METODOLOGIAS PARA MAPEAMENTO DE SUSCETIBILIDADE A  
MOVIMENTOS DE MASSA**

**EDUARDO SAMUEL RIFFEL**

**Orientador: Prof. Dr. Laurindo Antonio Guasselli**

**Coorientador: Prof. Dr. Luiz A. Bressani**

**Banca Examinadora:**

**Prof. Dr. Guilherme Garcia de Oliveira (UFRGS/Litoral Norte)**

**Prof. Dr. Roberto Verdum (POSGEA/UFRGS)**

**Profa. Dra. Silvia Midori Saito (CEMADEN)**

**Tese apresentada ao Programa de  
Pós-graduação em Geografia da  
Universidade Federal do Rio  
Grande do Sul como requisito  
parcial para obtenção do título de  
Doutor em Geografia.**

**PORTO ALEGRE, RS  
2017**

### CIP - Catalogação na Publicação

Riffel, Eduardo Samuel  
Metodologias para mapeamento de suscetibilidade a  
movimentos de massa / Eduardo Samuel Riffel. -- 2017.  
125 f.  
Orientador: Laurindo Antonio Guasselli.  
  
Coorientador: Luiz Antonio Bressani.  
  
Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio  
Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa de  
Pós-Graduação em Geografia, Porto Alegre, BR-RS, 2017.  
  
1. Deslizamentos. 2. Desastres. 3.  
Geoprocessamento. 4. Shalstab. 5. Árvore de decisão.  
I. Guasselli, Laurindo Antonio, orient. II.  
Bressani, Luiz Antonio, coorient. III. Título.

*"The question of questions for humanity...is the determination of the place which man occupies in Nature...what are the limits of our power over nature and of Nature's power over us?"*

*T. H. Huxley (1862)*



## **AGRADECIMENTOS:**

- Inicialmente a minha mãe Helena Maria Riffel (em memória) e meu pai Romeu Viro Riffel (em memória) que nunca mediram esforços para eu que atingisse meus objetivos ao longo de toda minha formação. Dedico-lhes este trabalho acadêmico.
- Ao professor, orientador e amigo Dr. Laurindo Antonio Guasselli, pelo apoio, confiança, dedicação, paciência e, pelas valiosas contribuições em todos meus trabalhos.
- Ao meu coorientador Dr. Luiz Antonio Bressani, pelas diversas contribuições para este trabalho.
- Aos professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFRGS, por darem o melhor de si, buscando sempre padrão de excelência do programa.
- A todos os colegas do Laboratório de Geoprocessamento Ambiental: Guilherme, João Paulo, Cecília, Fabi, Renata, Tássia, Renato, Letícia, Glênio, Gustavo, Diniz, Paola, Camilo, Ednardo, Daniela, Viviane, e em especial ao colega Luiz Fernando Chimelo Ruiz, pelas cervejadas e parceria nos artigos.
- A minha querida companheira Ana Luiza Pinto Alves, pela paciência, incentivo e apoio fundamental em todas as horas.
- A todos os colegas do 1º Centro de Geoinformação (antiga 1ª Divisão de Levantamento), em especial ao Cel. Antonio Henrique Correia pelas contribuições para o projeto de Tese e ao Cap. Angelo Cantaluppi Silvestri de Freitas e ao Cap. Diogo Oliveira, por todo apoio nos momentos que precisei conciliar pesquisa e trabalho.
- A Prefeitura Municipal de Três Coroas, a Defesa Civil de Três Coroas, e os Bombeiros Voluntários de Três Coroas.
- À CPRM, em especial: Carlos Augusto Peixoto, José Leonardo Andriotti, Ana Claudia Viero e Simone Zwirtes.

## RESUMO

O mapeamento de áreas com predisposição à ocorrência de eventos adversos, que resultam em ameaça e danos a sociedade, é uma demanda de elevada importância, principalmente pelo papel que exerce em ações de planejamento, gestão ambiental, territorial e de riscos. Diante disso, este trabalho busca contribuir na qualificação de metodologias e parâmetros morfométricos para mapeamento de suscetibilidade a movimentos de massa através de SIG e Sensoriamento Remoto, um dos objetivos é aplicar e comparar metodologias de suscetibilidade a movimentos de massa, entre elas o *Shalstab*, e a Árvore de Decisão que ainda é pouco utilizada nessa área. Buscando um consenso acerca da literatura, fez-se necessário organizar as informações referentes aos eventos adversos através de classificação, para isso foram revisados os conceitos relacionados com desastres, tais como suscetibilidade, vulnerabilidade, perigo e risco. Também foi realizado um estudo no município de Três Coroas – RS, onde foram relacionadas as ocorrências de movimentos de massa e as zonas de risco da CPRM. A partir de parâmetros morfométricos, foram identificados padrões de ocorrência de deslizamentos, e a contribuição de fatores como uso, ocupação e declividade. Por fim, foram comparados dois métodos de mapeamento de suscetibilidade, o modelo *Shalstab* e a Árvore de Decisão. Como dado de entrada dos modelos foram utilizados parâmetros morfométricos, extraídos de imagens SRTM, e amostras de deslizamentos, identificadas por meio de imagens de satélite de alta resolução espacial. A comparação das metodologias e a análise da acurácia obteve uma resposta melhor para a Árvore de Decisão. A diferença, entretanto, foi pouco significativa e ambos podem representar de forma satisfatória o mapa de suscetibilidade. No entanto, o *Shalstab* apresentou mais limitações, devido à necessidade de dados de maior resolução espacial. A aplicação de metodologias utilizando SIG e Sensoriamento Remoto contribuíram com uma maior qualificação em relação à prevenção de danos ocasionados por movimentos de massa. Ressalta-se, entretanto, a necessidade de inventários consistentes, para obter uma maior confiabilidade na aplicação dos modelos.

**Palavras-chave:** Deslizamentos, Desastres, Geoprocessamento, *Shalstab*, Árvore de Decisão.

## ABSTRACT

The mapping of areas with predisposition to adverse events, which result in threat and damage to society, is a demand of great importance, mainly for the role it plays in planning, environmental, territorial and risk management actions. Therefore, this work seeks to contribute to the qualification of methodologies and morphometric parameters for mapping susceptibility to mass movements through GIS and Remote Sensing, one of the objectives is to apply and compare methodologies of susceptibility to mass movements, among them Shalstab, and the Decision Tree that is still little used in this area. Seeking a consensus about the literature, it was necessary to organize the information regarding the adverse events through classification, for this the concepts related to disasters such as susceptibility, vulnerability, danger and risk were reviewed. A study was also carried out in the city of Três Coroas - RS, where the occurrence of mass movements and the risk zones of CPRM were related. From morphometric parameters, patterns of occurrence of landslides were identified, and the contribution of factors such as use, occupation and declivity. Finally, two methods of susceptibility mapping, the Shalstab model and the Decision Tree, were compared. Morphometric parameters, extracted from SRTM images, and sliding samples, identified by means of high spatial resolution satellite images, were used as input data. The comparison of the methodologies and the analysis of the accuracy obtained a better answer for the Decision Tree. The difference, however, was insignificant and both can represent satisfactorily the map of susceptibility. However, Shalstab presented more limitations due to the need for higher spatial resolution data. The application of methodologies using GIS and Remote Sensing contributed with a higher qualification in relation to the prevention of damages caused by mass movements. However, the need for consistent inventories to obtain greater reliability in the application of the models is emphasized.

**Key-words:** Landslides, Disasters, Geoprocessing, *Shalstab*, Decision Tree;

# Sumário

<b>Apresentação da estrutura da Tese</b> .....	7
<b>CAPÍTULO 1 – Aspectos Introdutórios</b> .....	8
1. <b>Introdução</b> .....	8
2. <b>Objetivos</b> .....	11
2.1 <i>Objetivo Geral</i> .....	11
2.2 <b>Objetivos Específicos</b> .....	11
3.1 <b>Conceitos</b> .....	12
3.1.1 <b>Desastres naturais</b> .....	12
3.1.2 <b>Movimentos de Massa</b> .....	13
3.1.3 <b>Ocupação de Encostas</b> .....	27
3.1.4 <b>Áreas de Risco</b> .....	29
3.2 <b>Geotecnologias</b> .....	31
3.2.1 <b>Mapeamento de movimentos de massa</b> .....	36
3.3 <b>Modelos para identificar áreas suscetíveis a movimentos de massa</b> .....	40
<b>CAPÍTULO 2 - Resultados na forma de Artigos Científicos</b> .....	45
<b>Artigo 1:</b> Desastres Associados a Movimentos de Massa: Uma revisão Conceitual ..	45
<b>Artigo 2:</b> Mapeamento de áreas suscetíveis a deslizamentos e zoneamento de risco no município de Três Coroas - RS.....	67
<b>Artigo 3:</b> Mapeamento de suscetibilidade a deslizamentos a partir de mineração de dados e do modelo <i>Shalstab</i> .....	81
<b>CAPÍTULO 3 - Considerações Finais</b> .....	96
4. <b>Considerações Finais</b> .....	96
5. <b>Referencias</b> .....	100

## Apresentação da estrutura da Tese

A tese foi organizada em 3 partes: (1) a primeira parte é de caráter introdutório, e é composta pela introdução, os objetivos e o referencial teórico; (2) a segunda parte traz os resultados da tese, em formato de artigos científicos; (3) a terceira parte são as considerações finais.

A segunda parte é composta por três artigos publicados em revistas científicas. O primeiro artigo é intitulado: “Desastres Associados a Movimentos de Massa: Uma revisão Conceitual”. Traz os conceitos relativos a movimentos de massa e algumas das principais referências nessa temática, são discutidos também os conceitos mais utilizados e que são relacionados a desastres naturais tais como: suscetibilidade, vulnerabilidade, perigo e risco e também dois dos principais tipos de movimentos de massa: deslizamentos e corridas.

O segundo artigo é intitulado: “Mapeamento de áreas suscetíveis a deslizamentos e zoneamento de risco no município de Três Coroas - RS”. Nesse artigo foram comparados os produtos gerados a partir de um mapeamento de suscetibilidade utilizando parâmetros morfométricos obtidos por meio de Sensoriamento Remoto, e o mapeamento realizado em campo pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) no qual foram mapeadas as áreas de risco do município de Três Coroas. A escolha dessa área se deve principalmente à obtenção de dados de trabalhos realizados em campo pela CPRM, e também pela frequência de desastres naturais ocorridas na área, principalmente movimentos de massa e inundações.

O terceiro artigo é intitulado: “Mapeamento de suscetibilidade a deslizamentos a partir de mineração de dados e do modelo *Shalstab*”. Compara dois métodos de mapeamento de suscetibilidade, o modelo *Shalstab* e a Árvore de Decisão, aplicados na bacia do arroio Forromeco, na bacia hidrográfica do rio Caí - RS. A área se adequa aos padrões para aplicação dos dois métodos, principalmente pela quantidade de ocorrências de cicatrizes. Além disso, o inventário mostra o registro de diversas ocorrências no passado. Foram utilizadas 47 amostras de deslizamentos planares, e os modelos foram aplicados tendo como variáveis de entrada os parâmetros morfométricos obtidos do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). A terceira parte da tese é composta pelas considerações finais e referências bibliográficas.

## CAPÍTULO 1 – Aspectos Introdutórios

---

### 1. Introdução

Os movimentos de massa caracterizam-se como importantes processos erosivos e deposicionais modeladores do relevo. Podem-se citar as corridas de detritos ou de massa, deslizamentos planares e quedas de blocos como os mais frequentes no Brasil (BIGARELLA *et al.*, 2003). O que os diferencia, são suas características de geometria e mobilidade (viscosidade), velocidade, volume e materiais envolvidos (BIGARELLA *et al.*, 2003).

Segundo Motta (2011), o aumento do registro de ocorrências de desastres é alarmante. Seja em um evento isolado ou em um conjunto de eventos, a identificação do tipo de movimento é de grande importância para a definição de sua periculosidade, e para a adoção de medidas adequadas de prevenção, mitigação ou convivência. Dentre estes, os movimentos de massa destacam-se por resultarem em movimentos de grande expressão, envolvendo números significativos de investimentos em recuperação das áreas afetadas e potencialmente de perdas humanas.

Os movimentos de massa estão entre os desastres naturais que podem causar sérios danos às instalações humanas, devido à alta mobilidade e energia de impacto. Por isso se faz necessário conhecer seus mecanismos, e identificar áreas suscetíveis a essas ocorrências. Em muitas situações as áreas afetadas por eventos adversos são desconhecidas pelos órgãos gestores. Normalmente após o desastre essas áreas sofrem modificações, como no caso de inundações de grandes proporções, ou grandes movimentos de massa.

O Sensoriamento Remoto e os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) tem se mostrado como ferramentas importantes na prevenção e análise de desastres naturais, segundo Blaschke & Kux (2005) o Sensoriamento Remoto representa uma ferramenta importante para a obtenção de dados básicos e espaciais, para realização de tarefas de proteção do ambiente natural, bem como para decisões de planejamento, fornecendo estruturas básicas para a observação do meio. Enquanto que os SIGs permitem agrupar

diversas camadas de informações sobre a área afetada por desastres naturais, cruzar múltiplos dados e criar mapas do terreno que possibilitem uma rápida análise da situação. (BLASCHKE & KUX, 2005).

A identificação e o mapeamento das áreas com predisposição à ocorrência de processos naturais catastróficos, que resultam em ameaça e danos a sociedade, é uma demanda de elevada importância, principalmente pelo papel que exerce em ações de planejamento e gestão ambiental, territorial e de riscos. Um documento que se propõe a fazer a cartografia da predisposição a esses processos são os mapas de suscetibilidade. A análise da suscetibilidade envolve técnicas de natureza preditiva, objetivando definir os tipos de eventos perigosos e definir as condições espaciais e temporais de sua ocorrência (BITAR, 2001). Segundo Vanacôr (2012), o mapeamento de suscetibilidade é o primeiro passo no sentido de mitigar efetivamente áreas propensas a deslizamentos e minimizar as consequências negativas destes eventos na sociedade.

Diversas metodologias têm sido utilizadas para o mapeamento de suscetibilidade a movimentos de massa, elas podem ser divididas em três grandes grupos: determinísticas, estatísticas e heurísticas. Cada metodologia possui suas especificidades, mas todas possuem como base o uso de experiências anteriores de ocorrências para realizar a previsão e a prevenção a novas ocorrências de movimentos de massa. Nesse trabalho, serão abordados diversos métodos para mapeamento de suscetibilidade, entre eles um amplamente utilizado para o mapeamento de deslizamentos planares, o modelo determinístico *Shalstab*, e outro que é pouco utilizado na área de movimentos de massa e praticamente desconhecida nessa área, mas que é amplamente utilizado por outras áreas da ciência, que é o modelo Árvore de Decisão. O modelo *Shalstab* - *Shallow Landsliding Stability*, é um modelo matemático determinístico fisicamente baseado que associa dados topográficos extraídos de um Modelo Digital de Elevação (MDE) a equações derivadas da combinação entre o modelo hidrológico de estado uniforme e o de estabilidade de encostas baseado na equação do talude infinito de Mohr-Coulomb (DIETRICH; MONTGOMERY, 1994). Enquanto que as árvores de decisão são estruturas capazes de aprender e tomar decisões a partir de um conjunto de amostras conhecidas, em que a partir deste aprendizado outras

amostras são classificadas, tendo a vantagem de possuírem fácil compreensão (POZZER, 2006).

O Rio Grande do Sul é frequentemente assolado por diversos Desastres Naturais, estudos em climatologia conduzidos na Universidade Federal do Rio Grande do Sul indicam que o estado é um dos que mais sofre com prejuízos relacionados a desastres (Aquino, 2017). Diversas ocorrências de movimentos de massa foram registradas em diversos municípios do Rio Grande do Sul nos últimos anos segundo dados da Defesa Civil estadual. Entre os de maior magnitude e seu respectivo ano de ocorrência destacam-se: São Vendelino – 2000; Igrejinha e Três Coroas – 2010; Rolante – 2017. Diversos outros municípios do estado também foram atingidos, mas esses foram os que registraram os maiores prejuízos (Defesa Civil – RS).

Os estudos sobre movimentos de massa sempre buscam soluções para os problemas causados para a população que reside em áreas de risco e geralmente é obrigada a abandonar suas residências, diante disso, este trabalho tem como objetivo principal aplicar e comparar metodologias de suscetibilidade a movimentos de massa, entre elas o *Shalstab* que já é amplamente utilizado na área de movimentos de massa, e a árvore de decisão que ainda é pouco utilizada, e praticamente desconhecida nessa área. Busca-se também contribuir com a temática de mapeamento de suscetibilidade a movimentos de massa trazendo metodologias, conceitos, autores e quais são as variáveis morfométricas que possuem maior relação para trazer resultados mais satisfatórios nos mapeamentos de suscetibilidade a movimentos de massa.



## 2. Objetivos

### 2.1 Objetivo Geral

Aplicar e comparar metodologias de suscetibilidade a movimentos de massa por meio de mapeamento, elaborado a partir de técnicas de Geoprocessamento e utilizando Sistemas de Informações Geográficas e Sensoriamento Remoto.

### 2.2 Objetivos Específicos

- Atualizar os conceitos relacionados a movimentos de massa, e as principais metodologias para mapeamento de suscetibilidade a movimentos de massa;
- Identificar cicatrizes de movimentos de massa, e mapeá-las a partir de técnicas de geoprocessamento e Sensoriamento Remoto;
- Realizar uma análise entre os resultados de mapeamento de suscetibilidade realizado a partir de Sensoriamento Remoto, e de zoneamento de risco realizado a partir de trabalho de campo;
- Identificar dentre os modelos *Shalstab* e *Árvore de Decisão* qual possui melhor desempenho para mapear a suscetibilidade a deslizamentos;
- Identificar quais os parâmetros morfométricos que possuem maior correlação com as ocorrências de movimentos de massa;

### 3. Referencial Teórico

#### 3.1 Conceitos

##### 3.1.1 Desastres naturais

Para Furlan *et al.* (2011) os desastres naturais no Brasil são resultado de uma combinação da ocorrência de eventos extremos com a vulnerabilidade, portanto, destaca-se a necessidade de se conhecer espacialmente quais áreas são mais suscetíveis à ocorrência de adversidades ambientais, e que possuem características que potencializam o risco.

Segundo dados de 2010 do BID (Banco Interamericano de Desenvolvimento), no Brasil e na América Latina, o registro de desastres ambientais têm crescido. Mesmo assim, ainda não se tem um órgão público de abrangência nacional com função específica para criar e implantar políticas de gestão de riscos e desastres ambientais, assim como, para tratar e remediar os vários acidentes (ROCHA, 2005). No Brasil, a falta de uma cultura de segurança e de legislação adequada, inibe ações que levem em conta o ciclo dos desastres, fazendo com que as catástrofes tenham consequências significativas para o país (RIFFEL, 2012). A nível nacional o Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais (CEMADEN), tem como objetivo principal realizar o monitoramento e emitir alertas de desastres naturais a nível nacional. A nível regional vem sendo implementados os Centros Estaduais de Ensino e Pesquisas em Desastres (CEPED), o objetivo é implementar 12 ao total no país.

O processo de urbanização do Brasil levou a população de baixa renda a ocupar áreas vazias desprezadas pelo mercado, áreas essas ambientalmente frágeis, como margens de rios e encostas íngremes, que foram e são ocupadas de forma precária. Para Carvalho *et al.* (2007), a precariedade da ocupação aumenta a vulnerabilidade das áreas já naturalmente suscetíveis que, por ocasião dos períodos chuvosos mais intensos, têm sido palco de desastres.

Segundo Kobiyama *et al.* (2006, p.10):

“No Brasil, os desastres naturais têm sido tratados de forma segmentada entre os diversos setores da sociedade. Nos últimos anos vem ocorrendo uma intensificação dos prejuízos causados por

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

### 3.1.2 *Movimentos de Massa*

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

Para Cunha & Guerra (2006), os condicionantes naturais podem, juntamente com o manejo inadequado, acelerar a degradação. Chuvas concentradas, encostas desprotegidas de vegetação, contato solo-rocha abrupto, descontinuidades litológicas e pedológicas, declividade das encostas são algumas das condições que podem potencializar ou acelerar alguns dos processos (deslizamentos, erosão, corridas).

Diversos autores têm trabalhado com a análise da ocorrência de movimentos de massa, entre eles, pode-se destacar (OKIDA, 1996; CREPANI, 2001; FELIPPE, 2007; GOMES, 2007; SILVA, 2009; COELHO NETTO *et al.*, 2013; GÁLVEZ FLORES & BRESSANI, 2014; MOTTA, 2014).

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

Para Cunha & Guerra (2008), nos movimentos de massa ocorre um movimento coletivo do solo e/ou rocha, onde a gravidade/declividade possui um papel significativo. A água pode tornar ainda mais catastrófico, mas não é

necessariamente o principal agente desse processo, pois, sabe-se que a cobertura vegetal, em alguns casos, pode inibir suas ocorrências (SELBY, 1985; STRAHLER & STRAHLER, 1992). E em outras, exerce o papel inverso, podendo ser um fator agregador para a erosão (CHORLEY *et al.*, 1984; WOLLE, 1988; MICHEL *et al.*, 2015;).

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

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

Vieira *et al.* (2008) classificam as condicionantes de movimentos de massa nas cidades brasileiras em dois grandes grupos:

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

2• Condicionantes Antrópicos: são determinados principalmente pelo padrão de uso e ocupação do solo. Encostas desmatadas; obras de terraplanagem que geram depósitos de terra (aterro) com estabilidade precária; habitações populares oriundas de assentamentos clandestinos, construídas







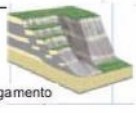


sem procedimentos técnicos adequados, e compatíveis com o meio; grandes assentamentos irregulares desprovidos de obras de infraestrutura urbana básica, tais como: rede de drenagem de águas pluviais, rede coletora de esgotos e pavimentação adequada, entre outros. A ausência de padrões urbanísticos, tal como desenho urbano de ruas, quadras e lotes compatível com o relevo.

Entretanto, ressalta-se que os condicionantes antrópicos não são preponderantes no caso de corridas de detritos, já que ocorrem em áreas, que pela declividade, raramente estão ocupadas. (AUGUSTO FILHO, 1992)

Cunha & Guerra (2008) relacionam ainda, os movimentos de massa, com a forma da vertente. Segundo esses autores “A forma da encosta exerce influência, também, na geração de zonas de convergência e divergência dos fluxos d’água superficial e subsuperficial e de sedimentos, sobretudo as porções côncavas, sendo zonas preferenciais para a ocorrência de deslizamentos”. No entanto, esta inferência nem sempre encontra respaldo nas evidências de campo, como pode ser visto no acidente da região de São Vendelino em 2000 (SILVEIRA, 2008). Em alguns casos de corridas de detritos, os movimentos sobrepõem as formas de vertentes.

Existem diversas classificações nacionais e internacionais relacionadas a movimentos de massa conforme Figura 1. Neste trabalho, foi adotada a classificação proposta por Augusto Filho (1992), onde os movimentos de massa relacionados a encostas são agrupados em quatro grandes classes de processos, sendo: Rastejos, Deslizamentos, Quedas e Corridas.

Figura 1 - Classificação de movimentos de massa de acordo com o material predominante e a velocidade.

		Velocidade →		
Material	Natureza do Movimento	Lento (1 cm/ano) Baixo conteúdo de água	Moderado (1 km/hora) Alto conteúdo de água	Rápido (5 km/hora) Alto conteúdo de ar
Rocha	Fluxo			 Avalanche de rocha
	Deslizamento ou queda		 Deslizamento de rocha	 Queda de bloco
Material inconsolidado	Fluxo	 Rastejo de solo	 Fluxo de terra	 Fluxo de detritos
	Deslizamento ou queda	 Escorregamento	 Corrida de lama	 Deslizamento de detritos

Fonte: Jordan & Schott (1994).

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

Os rastejos são movimentos lentos, que envolvem grandes massas de materiais, cujo deslocamento resultante ao longo do tempo é mínimo (mm a cm/ano). Esse processo atua sobre os horizontes superficiais do solo, bem como, nos horizontes de transição solo/rocha e até mesmo em rocha, em profundidades maiores. Também é incluído neste grupo o rastejo em:

- (a) solos de alteração. Originados no próprio local;
- (b) corpos de talus/colúvios. Tipo de solo proveniente de outros locais, transportado para a situação atual por grandes movimentos gravitacionais de massa, apresentando uma disposição caótica de solos e blocos de rocha, geralmente, em condições de baixa declividade.

Este processo não apresenta uma superfície de ruptura definida (plano de movimentação). As evidências da ocorrência deste tipo de movimento são trincas observadas em toda a extensão do terreno natural, que evoluem

vagarosamente, e árvores ou qualquer outro marco fixo, que apresentam inclinações variadas.

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

### **Deslizamentos (landslides, rock-slide, debri-slide, slump)**

Os deslizamentos são processos marcantes na evolução das encostas, caracterizando-se por movimentos rápidos (m/h a m/s), com limites laterais e profundidade bem definidos (superfície de ruptura). Os volumes instabilizados podem ser facilmente estimados, ou pelo menos inferidos. Podem envolver solo, saprólito, rocha e depósitos. São subdivididos em função do mecanismo de ruptura, geometria e material que mobilizam. O principal agente deflagrador deste processo é a precipitação. Os índices pluviométricos críticos variam de acordo com a região, sendo menores para os deslizamentos induzidos e maiores para os generalizados (IPT, 2013).

Existem vários tipos de deslizamentos propriamente ditos, como: os planares ou translacionais; os circulares ou rotacionais; em cunha; e os induzidos. A geometria destes movimentos varia em função da existência ou não de estruturas ou planos de fraqueza nos materiais movimentados, que condicionem a formação das superfícies de ruptura.

Os deslizamentos planares ou translacionais em solo são processos muito frequentes na dinâmica das encostas serranas brasileiras, ocorrendo predominantemente em solos pouco desenvolvidos das vertentes com altas declividades. Sua geometria caracteriza-se por uma pequena espessura e forma retangular estreita (comprimentos bem superiores às larguras). Este tipo de deslizamento também pode ocorrer associado a solos saprolíticos, saprolitos e rocha, condicionados por um plano de fraqueza desfavorável à estabilidade, relacionado a estruturas geológicas diversas (foliação, xistosidade, fraturas, falhas, etc.), ou ao próprio fenômeno de formação dos solos (intemperismo) que leva à formação de diferentes estratos de solos. (IPT, 2013)

Os deslizamentos circulares ou rotacionais possuem superfícies de deslizamento curvas, sendo comum a ocorrência de uma série de rupturas

combinadas e sucessivas. Estão associadas a aterros, pacotes de solo ou depósitos mais espessos, rochas sedimentares ou cristalinas intensamente fraturadas. Possuem um raio de alcance relativamente menor que os deslizamentos translacionais.

Os deslizamentos em cunha estão associados a saprólitos e maciços rochosos, onde a existência de dois planos de fraqueza desfavoráveis à estabilidade condicionam o deslocamento ao longo do eixo de intersecção destes planos. Estes processos são mais comuns em taludes de corte ou encostas que sofreram algum processo natural de desconfinamento, como erosão ou deslizamentos pretéritos. (IPT, 2013)

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

Em geral, a evolução da instabilidade das encostas acaba por gerar feições que permitem analisar a possibilidade de ruptura. As principais feições de instabilidade, que indicam a iminência de deslizamentos, são representadas por: fendas de tração na superfície dos terrenos ou pelo aumento de fendas preexistentes; o embarrigamento de estruturas de contenção; pela inclinação de estruturas rígidas, como postes, árvores, etc.; pelo surgimento de degraus de abatimento e trincas no terreno e nas moradias. (IPT, 2013)

### **Quedas (rock fall, debrisfall)**

Os movimentos do tipo queda são extremamente rápidos (da ordem de m/s) e envolvem blocos e/ou lascas de rocha em movimento de queda livre, instabilizando um volume de rocha relativamente pequeno. A ocorrência deste processo está condicionada à presença de afloramentos rochosos em encostas íngremes, abruptas ou taludes de escavação, tais como, cortes em rocha, frentes de lavra, etc., sendo potencializados pelas amplitudes térmicas, por meio da dilatação e contração da rocha.



As causas básicas deste processo são a presença de descontinuidades no maciço rochoso, que propiciam isolamento de blocos unitários de rocha; a subpressão por meio do acúmulo de água, descontinuidades ou penetração de raízes. Pode ser acelerado pelas ações antrópicas, como, por exemplo, vibrações provenientes de detonações de pedreiras próximas. Ressalta-se que as frentes rochosas de pedreiras abandonadas podem resultar em áreas de instabilidade decorrentes da presença de blocos instáveis remanescentes do processo de exploração. (IPT, 2013)

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

O tombamento, também conhecido como basculamento, acontece em encostas/taludes íngremes de rocha, com descontinuidades (fraturas, diáclases) verticais. Em geral, são movimentos mais lentos que as quedas e ocorrem principalmente em taludes de corte, onde a mudança da geometria acaba desconfinando estas descontinuidades, propiciando o tombamento das paredes do talude. O rolamento de blocos, ou rolamento de matacões, é um processo comum em áreas de rochas graníticas, onde existe maior predisposição a originar matacões de rocha sã, isolados e expostos em superfície. Estes ocorrem naturalmente quando processos erosivos removem o apoio de sua base, condicionando um movimento de rolamento de bloco. A escavação e a retirada do apoio, decorrente da ocupação desordenada de uma encosta, é a ação antrópica mais comum no seu desencadeamento.

### **Corridas de detritos (debris-flow, earth-flow, mud-flow)**

As corridas de detritos são movimentos gravitacionais de massa complexos, ligados a eventos pluviométricos excepcionais. Ocorrem a partir de deslizamentos nas encostas e mobilizam grandes volumes de material, sendo o seu escoamento ao longo de um ou mais canais de drenagem, tendo comportamento líquido viscoso e alto poder de transporte. (IPT, 2005)

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

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

Segundo Stiny (1910), fluxo de detritos (*debris flow*) é a descrição de uma torrente escoando em uma montanha carreando sólidos suspensos e transportando determinada quantidade de massa erodida. Como a quantidade de massa transportada aumenta, em determinado momento ela se transforma em uma massa viscosa contendo água, solo, areia, pedras, rochas e madeira misturados, onde este escoamento assemelha-se à de lava vulcânica transitando em um vale.

Espósito *et al.* (2010) realizaram um estudo, no qual é dada ênfase na análise da geologia como um dos fatores condicionantes para a ocorrência de movimentos de massa. Segundo os autores, movimentos de massa catastróficos geram altos custos quanto à realocação de estruturas, obras de contenção, perda de produtividade industrial, agrícola e florestal, e de vias de transporte. Na paisagem há áreas com diferentes suscetibilidades aos movimentos de massa. Os principais condicionantes naturais para as corridas de detritos são a declividade, a forma e a área de contribuição das vertentes, a estrutura do regolito e as propriedades do solo. Os autores analisam a suscetibilidade aos movimentos de massa como fortemente condicionada pela estrutura das rochas metassedimentares do Quadrilátero Ferrífero, combinada com declividades acentuadas. Investigam as suscetibilidades naturais levando em consideração: declividade; correlação entre a direção de mergulho das camadas e orientação das vertentes; e correlação entre o ângulo de mergulho das camadas e declividade das vertentes, para identificar as áreas de maior e menor risco.

Segundo Costa (1984), o fluxo de detritos é originado em locais com rochas e demais detritos que são mobilizados de encostas e canais com a adição de umidade. Os pré-requisitos para iniciar um fluxo de detritos incluem uma abundante fonte de material fino e grosseiro não consolidado, encostas íngremes, uma grande e intermitente fonte de umidade e uma vegetação esparsa. Estes condicionantes não são sempre totalmente necessários, há casos de rupturas em vegetação densa, como por exemplo na Serra do RJ, em

2011, e em geral estão condicionados à ocorrência de precipitações de grande intensidade.

O fluxo de detritos, ou *debris flow*, é um mecanismo de ruptura complexo que pode se manifestar em decorrência do aumento de poropressões nas discontinuidades da rocha provocado por chuvas intensas e prolongadas, ou ainda pela ação de sismos. Os movimentos definidos como fluxos diferenciam-se dos demais movimentos de massa devido a características peculiares tais como: velocidade elevada, alta capacidade de erosão e destruição e transporte de detritos a grandes distâncias em períodos de tempo muito curtos (MASSAD *et al.*, 1997 e 1998; KANJI *et al.*, 2008; MOTTA, 2014; ZNAMENSKY, 2014;).

As corridas de detritos são consideradas o tipo de movimento de massa de maior poder destrutivo e de carregamento de materiais. Segundo Cruden e Varnes (1996), o termo fluxo de detritos, ou *debris flow*, representa um fenômeno completo de movimento de massa (escorregamento e propagação de material grosseiro). Inclui o início do deslocamento em uma declividade acentuada, escoando rapidamente em um canal confinado e deposição em um leque de detritos. Por isso se faz de suma importância compreender melhor sua ocorrência visto que pouco se sabe sobre sua gênese e características (NUNES, 2013).

Baseado nas classificações propostas em Hungr (2005) e Gostner *et al.* (2008) um fluxo de detritos pode ser dividido em três zonas distintas de acordo com o processo predominante: ruptura; transporte e deposição. A zona de ruptura está localizada em uma região na parte superior da encosta, ou na lateral de um vale ou canal principal.

O fluxo de detritos é um movimento de massa muito complexo que envolve volumes, materiais, velocidades e energias muito diversas, dificultando a adoção de medidas de segurança de encostas com este potencial de ruptura. Ainda mais crítico é o fato do fluxo de detritos ocorrer de forma súbita, sem sinais prévios e ter potencial para elevados danos. A alternativa de análise consiste em determinar as possíveis trajetórias e energias de impacto das massas, e estabelecer obras de retenção, redução de energia, condução e controle (sabo-works) do fluxo de detritos (SANTOS, 2013).

## Formas de Vertentes e Processos Erosivos

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

O conceito de vertente é essencialmente dinâmico, uma vez que permite delimitar um espaço de relações processuais de natureza geomorfológica, incorporando os mais diferentes tipos de variáveis. Cruz (1982, p.82) observa que:

*“o estudo geomorfológico da evolução atual das vertentes é extremamente importante quanto ao entendimento espaço-temporal dos mecanismos morfodinâmicos atuais e passados. Os estudos morfodinâmicos mais atuais levam ao cerne do estudo geomorfológico por excelência, ajudando o entendimento das paisagens geográficas”.*

Ressalta ainda que

*“são eles que mostram os mecanismos dessa evolução e levam ao melhor entendimento dos estudos morfogenéticos de épocas passadas”.*

Quanto à disposição da vertente, Casseti (1983) observa que apesar de geralmente se atribuir grande importância ao declive, a forma geométrica da vertente apresenta relevância no resultado de perdas de terra, apesar de uma relação de relevo significativamente elevada em determinadas parcelas. O modelo de vertente representado por comprimento e largura côncavos apresenta algumas vezes menor erodibilidade, considerando ser esta forma caracterizada por uma tendência decrescente do perfil de equilíbrio (redução da declividade em direção a jusante) no seu estágio evolutivo. Com relação à perda de água, ou ao volume de água escoada por parcela, o autor registra

também estreita correspondência com a modalidade de uso ou cobertura vegetal nas respectivas áreas.

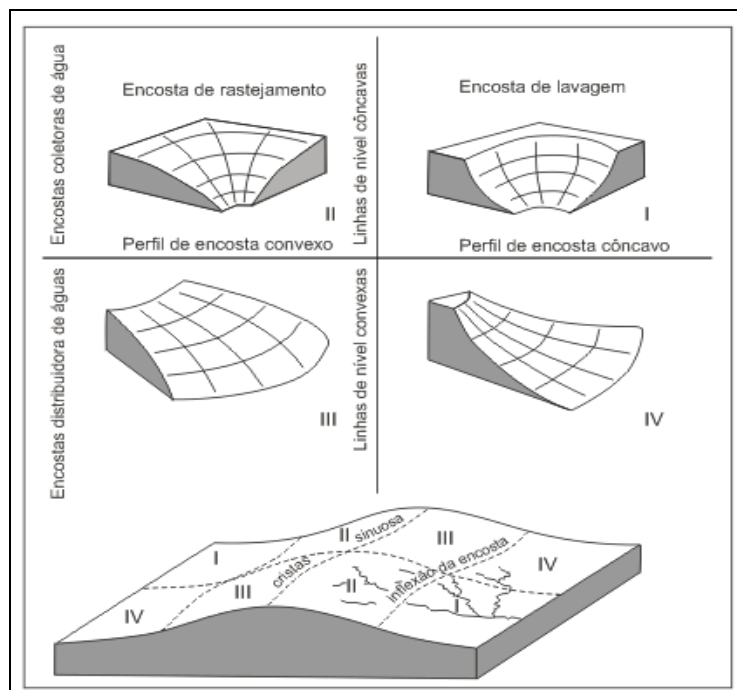
Para Christofolletti (1980), a análise da morfologia das vertentes inclui as seguintes variáveis:

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

Bloom (1970), utilizando-se dos modelos geométricos de vertente de Troeh (1965), divide os quatro principais tipos de encostas em dois grupos. As encostas podem ser subdivididas com relação aos seus elementos componentes “a” e “b”: a) “coletoras de água”, com contornos côncavos (quadrantes I e II); e b) “distribuidoras de água”, com contornos convexos (quadrantes III e IV), Figura 2

Na Figura 2, o eixo vertical do diagrama separa as encostas com perfis convexos, que facilitam, em alguns casos, o desenvolvimento do rastejamento (quadrantes II e III), das encostas com perfis côncavos, que favorecem a lavagem pela água das chuvas (quadrantes I e IV).

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



Fonte: Troeh (1965).

Segundo IPT (1991) dentre os principais problemas relacionados ao processo de ocupação de vertentes destacam-se as atividades erosivas, geralmente determinadas pelas seguintes causas: remoção da vegetação; concentração de águas pluviais; exposição de terras suscetíveis à erosão; execução inadequada de aterros.

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

Conforme Silveira (2008) em solos naturais soltos (colúvios, durante elevação de poro-pressão, pode ocorrer liquefação do solo, com a consequente ocorrência de corridas de detritos. O mecanismo de ruptura desses movimentos está intimamente associado ao comportamento mecânico dos solos e ao fluxo de água sub-superficial que se estabelece nos mesmos.

Para Vieira *et al.* (2008) a influência da água na estabilidade de encostas está relacionada ao rápido aumento da poro-pressão durante intensos eventos pluviométricos. Segundo o autor, esse aumento é causado pelo fluxo de água que se desenvolve paralelo à encosta, devido à ocorrência de um horizonte menos permeável sob uma camada passível de instabilização.

Para Michel (2013) a poro-pressão é caracterizada pela pressão a que está submetida a água situada nos poros do solo e atua no sentido de aliviar a tensão normal do solo. Segundo o autor, a água pode gerar diversos efeitos como hidratação da argila, erosão do pé das encostas ou intemperismo, porém o efeito mais relevante encontra-se no aumento da pressão dos poros originado por sua presença.

Penteado (1974) mostra que “o comportamento de uma estrutura em relação à erosão depende da natureza das rochas (propriedades físicas e químicas) sob a ação de diferentes meios morfoclimáticos”. Dentre as propriedades básicas de uma rocha, destaca que o grau de coesão, o grau de permeabilidade e o grau de plasticidade influenciam no modo de escoamento superficial.

Além dessas existem outras propriedades que influenciam na desagregação mecânica como o grau de massividade e o tamanho dos grãos. Outras ainda facilitam a decomposição química, como grau de solubilidade e grau de heterogeneidade.

Também os diferentes tipos de material que compõem o depósito de cobertura reagem aos efeitos erosivos em função do comportamento destes, com destaque para a origem e a textura. A exposição do terreno, decorrente do decapeamento da vertente por atividades mecânicas (movimento de terra), é um fator indutor de processos erosivos pela ação da água.

Diversos autores destacam a relação da declividade com os movimentos de massa, e uma das feições características da alta declividade é a linha de escarpa. Segundo (DANTAS *et al.*, 2005; p.63)

*“O cenário imponente da escarpa da Serra Geral é marcado por uma dissecação diferencial do seu front, produzida pela rede de canais que esculpem profundos vales em “V”, delineados por condicionantes estruturais do substrato. Nestes*

*terrenos íngremes, os solos tendem a ser muito rasos, ainda que sustentem uma vegetação de porte florestal, devido ao clima muito úmido. Esta condição geocológica caracteriza a escarpa da Serra Geral como uma unidade geomorfológica muito suscetível a movimentos de massa, destacando-se deslizamentos rasos translacionais no contato solo-rocha durante eventos climáticos de extrema pluviosidade. Os movimentos de massa detonados nas altas vertentes da escarpa catalisaram grandes torrentes de fluxos detríticos e corridas de lama que percorreram os principais eixos de drenagem e que esparramam grande massa de sedimentos nas planícies alúvio-coluvionares imediatamente a jusante.”*

Bazzan *et al.* (2006) e Riffel & Guasselli (2012) utilizam o termo linha de escarpa para descrever a ruptura no relevo onde os movimentos de massa são comuns devido à alta declividade.

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

De acordo com Silveira (2008) em taludes que apresentam depósitos de solos coluvionares podem ocorrer diversas formas de instabilidades, como rastejo (creep), deslizamento translacional do tipo talude infinito, deslizamento rotacional, corridas de detritos ou várias formas associadas, dependendo da geometria dos colúvios.

Alguns trabalhos abordam que o início e os tipos de movimento de colúvios estão relacionados à sua espessura (ELLEN & FLEMING, 1987; FLEMING & JOHNSON, 1994). Segundo esses autores, colúvios espessos usualmente estão associados a deslizamentos rotacionais lentos, que dificilmente se liquefazem ou se desagregam. Já taludes instáveis de colúvios rasos apresentam inicialmente um deslizamento translacional, seguido por desagregação e fluidez (corridas de detritos).

Para Lacerda (2002) existem dois processos erosivos que contribuem para a instabilidade em vales fechados e ambos estão associados aos períodos de chuva prolongados. O primeiro é a erosão superficial em que a



água escorre pela superfície carregando partículas de solo para cotas mais baixas, e depositando essas partículas no talvegue, ou até o rio mais próximo, onde vai se depositar no aluvião. A outra parcela permanece na própria encosta e vai fazer parte do colúvio. O segundo processo é quando uma porção de solo residual escorrega e se deposita sobre a encosta. Este novo acréscimo de colúvio, ao contrário do anterior, pode acrescentar vários metros de uma só vez à encosta.

### *3.1.3 Ocupação de Encostas*

De acordo com IPT (1991) dentre as principais causas associadas à intervenção humana na indução de movimentos de massa destacam-se: lançamento e concentração de águas pluviais; lançamento de águas servidas; vazamentos na rede de abastecimento de água; fossa sanitária; declividade e altura excessivas de cortes; execução inadequada de aterros; deposição de lixo; remoção indiscriminada da cobertura vegetal.

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

a) Análise de risco. “Entende-se por risco a possibilidade de perigo, perda ou dano, do ponto de vista social e econômico, a que a população esteja submetida caso ocorram escorregamentos e processos correlatos” (IPT, 1991). Para prever ou atenuar a possibilidade de riscos tornam-se necessárias observações e registros de indicadores de instabilidade, tanto naturais quanto produzidos pelas derivações antropogênicas, prognosticados sob a ótica das possíveis consequências erosivas;

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

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

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

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

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

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

- faixa não edificável ao longo de ferrovias, rodovias, dutos, linhas de transmissão, córregos, etc.;
- preservação ambiental de áreas específicas constantes do Código Florestal, dentre outras;

- características a serem adotadas nos loteamentos (Lei 6.766/79) e leis estaduais correspondentes.

Em geral, são feitas considerações quanto à definição do traçado mais favorável do arruamento, tendo por princípio acompanhar as condições naturais do terreno, evitando-se ao máximo, os movimentos de terra. A partir de interferências no traçado do sistema viário sobre os lotes e drenagem, podem ser estabelecidos critérios para a concepção de: (a) loteamentos (definição de formas e áreas de lotes mais favoráveis, definição de quadras mais favoráveis, drenagens e esgotamento sanitários em grupos de lotes); (b) na concepção das habitações (tipologia básica de projetos de habitações específicas para encostas e projetos de reurbanização), (CASSETI, 2005).

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

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

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

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

### 3.1.4 *Áreas de Risco*

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

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

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

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

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

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

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

•**Área de Risco**: Área passível de ser atingida por fenômenos ou processos naturais e/ou induzidos que causem efeito adverso. As pessoas que habitam essas áreas estão sujeitas a danos à integridade física, perdas materiais e patrimoniais. Normalmente, no contexto das cidades brasileiras, essas áreas correspondem a núcleos habitacionais de baixa renda (assentamentos precários).

Égas *et al.* (2010) conceituam áreas de risco a deslizamentos como aquelas áreas em que as estruturas geológicas somadas às formas do relevo, à espessura dos solos e a ação antrópica, constituem um conjunto que, submetidos a longos e intensos períodos de chuvas e, coloca a área em situação de risco.

Rosa Filho & Cortez (2008) destacam alguns dos motivos pelo qual os moradores permanecem em áreas de risco:

*“Ao analisar a questão inicial, por que essa população não deixa as áreas de risco, mesmo sabendo do perigo, levantamos a priori, que a principal dificuldade em sair da área está na decorrência da falta de outras perspectivas de lugar de moradia. Somamos a esta hipótese inicial, outras reveladas pelo trabalho de pesquisa. As*

*condições precárias de submoradias e o baixo padrão de vida dos moradores decorrem, quase sempre, do baixo padrão de remuneração que obtêm em subempregos, da localização das favelas, localização esta em relação à acessibilidade social, ou seja, aos “benefícios” urbanos e, ainda, das políticas públicas que reiteram a segregação sócio-espacial no município. Há ainda a percepção do perigo distorcido, ou seja, o morador percebe que o perigo pode acontecer com o outro e nunca consigo mesmo. Além disso, há fatores de ordem econômica, cultural e histórica que corroboram para esse estado de inércia desses moradores.”(Rosa filho & Cortez, 2008, p. 591)*

### **3.2 Geotecnologias**

Os avanços tecnológicos dos anos 60 resultaram na criação do programa *LANDSAT* da NASA. Na década de 70 os Estados Unidos lançaram o primeiro satélite de Sensoriamento Remoto, o ERTS-1, mais tarde denominado *LANDSAT-1*, a partir daí passou-se a receber imagens da Terra desde o espaço de forma regular a cada 16 dias. Este foi o primeiro programa de satélite de Sensoriamento Remoto do mundo, e permanece até hoje. Depois do lançamento do satélite *LANDSAT* surgiram dezenas de programas de satélites de Observação da Terra, já tendo sido lançados vários satélites deste tipo construídos por países como Alemanha, Canadá, China e Brasil, Coreia, França, Índia, Inglaterra, Israel e Japão. (SAUSEN, 2008)

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

Os indicadores são mudanças na resposta (características espectrais detectadas pelos sensores remotos) da cobertura vegetal (já degradada, às vezes até por escorregamentos anteriores), uso da terra, tipologia das encostas e até mesmo, dissecação do relevo.

Nos movimentos de massa, a remoção da cobertura vegetal seguida da exposição do solo ou rocha imprime diferenças de tonalidade, cor, textura e matiz na imagem, além de apresentarem formas específicas, permitindo a interpretação de tais feições (SESTINI & FLORENZANO, 2003). Mas muitas vezes os escorregamentos ocorrem sem que haja a denudação do terreno

subjacente, mesmo com deslocamentos métricos. Assim, as cicatrizes só ocorrem nos escorregamentos de grande movimentação, como os que dão origem às corridas de detritos.

Diversos estudos buscaram identificar e mapear cicatrizes de escorregamentos, suscetibilidades e movimentos de massa utilizando dados de Sensoriamento Remoto e geoprocessamento (CARVALHO, 2003; SESTINI & FLORENZANO, 2004) ora se utilizando de análise temporal (RIEDEL *et al.*, 2008); buscando estabelecer áreas de suscetibilidade (VANACÔR, 2006; TEIXEIRA & SOUZA, 2008); definindo variáveis geomorfológicas (CASTRO, 1998; SESTINI, 1999); definindo áreas de risco (DAL'ASTA, 2005); modelando espacialmente os movimentos de massa (WERLANG *et al.*, 2005); comparando métodos de avaliação (MARCELINO & FORMAGGIO, 2004); definindo instabilidade potencial (SILVEIRA *et al.*, 2005); avaliando as unidades de paisagem implicadas nesse processo (BAPTISTA, 2005; AMORIM & OLIVEIRA, 2008); ou analisando a ocupação urbana em áreas de risco (BUENO, 2002; AMORIM *et al.*, 2007).

Existem diversas metodologias para se avaliar as áreas suscetíveis aos movimentos de massa. Uma delas que é amplamente utilizada é o mapeamento e a geração de carta de vulnerabilidade à perda de solo (CREPANI *et al.*, 1996). A metodologia elaborada para a geração da carta de vulnerabilidade à perda de solo foi desenvolvida a partir do conceito de Ecodinâmica de Tricart (1977). Baseia-se na morfogênese (processo de modificação das formas de relevo), e na pedogênese (processo que dá origem à formação dos solos) e demonstra a potencialidade para estudos integrados de imagens orbitais e sistemas de informação geográfica.

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

preexistentes (mapas geológico, geomorfológico, de solos e de vegetação) para que cada unidade de paisagem seja caracterizada quanto à sua morfodinâmica.

Marcelino (2003) desenvolveu uma abordagem quantitativa para a elaboração de mapeamento de áreas suscetíveis a escorregamentos, utilizando técnicas de Sensoriamento Remoto e SIG. A partir da técnica de fusão de imagens ópticas orbitais, para identificar cicatrizes de escorregamentos, e da técnica de inferência geográfica, gerou um mapa de suscetibilidade a escorregamentos mais precisos a partir da ocorrência de eventos catastróficos e da existência de um banco de dados geográficos. Para a elaboração do mapa de inventário, realizou uma avaliação da qualidade espacial, espectral e potencial fotointerpretativo das imagens fundidas pelos métodos Brovey, HSV, PCA, IHS, WTVE e WTYO. Utilizou o classificador Maxver e análise visual sobre a imagem IHS para identificar cicatrizes, utilizadas na ponderação das variáveis geoambientais e suas respectivas classes e para a avaliação dos mapas de suscetibilidade.

A missão SRTM foi realizada para adquirir dados de altimetria de todo o globo terrestre a partir de sensores ativos (radar). Utilizou o instrumento SIR-C/X-SAR, a bordo do Ônibus Espacial *Endeavour*, com um arranjo projetado para coletar medidas tridimensionais da superfície terrestre através de interferometria por radar. A operação projetada e financiada pela Agência Espacial Americana (NASA), Agência Americana de Inteligência Aeroespacial (NSA), em colaboração com a Agência Espacial Italiana (ASI) e o Centro Aeroespacial Alemão (DLR). Para tanto a nave foi munida de um mastro de 60m (linha base), em cujas extremidades foram instaladas antenas para as bandas C e X. O sobrevoo da SRTM ocorreu no período de 11 a 22 de fevereiro de 2000, percorrendo 16 órbitas por dia, num total de 176 órbitas. Foram coletados e processados 12TB para a formação dos Modelos Digitais de Elevação (MDE).

A elaboração do MDE foi realizada a partir do processamento dos dados contínuos a continência, e distribuídos pela NASA através da USGS (United States Geological Survey). A cobertura abrange 80% da área terrestre do planeta, entre latitudes 60°N e 60°S. A resolução original do mapeamento gerado é de 30 metros. Para o georreferenciamento do mapeamento foram

distribuídos refletores com coordenadas precisamente definidas, para a geração de uma rede de pontos de controle. O datum e o elipsóide de referência são WGS84, em coordenadas geográficas decimais.

As formas tradicionais de utilização destes dados contemplam mapeamentos temáticos, sistemas de navegação aérea e terrestre, planejamento de voo 3D e simulações, mapeamento de escoamento superficial, sistemas inteligentes de transportes, ortorretificação de imagens aéreas/satélite e modelagens do fluxo de água ou movimento de massa. Seu formato mais comum é raster, podendo também se apresentar em vetores ou pontos cotados.

Atualmente, os dados de Sensoriamento Remoto da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), para a geração de modelo digital de elevação (MDE), estão vastamente difundidos e possuem aplicações no âmbito de diagnósticos ambientais e de estudos relacionados às dinâmicas geomorfológicas e hidrológicas (VALERIANO, 2008; PAZ & COLLISCHONN, 2008; OLIVEIRA *et al.*, 2012; BRUBACHER *et al.*, 2012 ).

Esses dados configuram-se como uma alternativa importante na minimização de custos e do tempo na produção de estudos no âmbito da análise ambiental, uma vez que possibilitam, de forma rápida e eficiente, a extração de redes de drenagem e a análise morfométrica do terreno a partir de geoprocessamento.

A informação mais relevante para a qualidade do dado corresponde ao que se denomina grid de resolução, sendo este a distância entre cada ponto com informação altimétrica. Esta informação é muitas vezes confundida com resolução espacial de maneira equivocada, visto que o dado pode ser reamostrado para a escala desejada sem incremento/perda de informação, ou seja, o grid de espaçamento continuará sendo o mesmo.

Para Oliveira (2010) e Brubacher *et al.* (2012) mesmo com algumas limitações, os dados SRTM constituem-se num conjunto de informações altimétricas de considerável importância, tendo em vista sua ampla utilização no ambiente científico e sua fácil e rápida manipulação.

Ao analisar a eficiência dos dados SRTM, Barros e Cruz (2007) mostraram que essa metodologia se enquadra adequadamente na acurácia indicada pelo PEC (Padrão de Exatidão Cartográfica) para a escala 1:100.000.



Grohmann *et al.* (2008) avaliaram a eficácia da utilização de dados SRTM na análise geomorfológica, apontando que são dados de qualidade bastante boa, apresentando valores pequenos de erro padrão ao se considerar as grandezas envolvidas.

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

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

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

Em trabalho realizado por Lima & Souza (2007) foram analisados os elementos do meio natural, e aplicado o geoprocessamento na identificação de áreas com suscetibilidade a movimento de massa, servindo de apoio para tomada de decisão no planejamento ambiental. Foram atribuídas notas aos parâmetros que condicionam os movimentos de massas por meio de uma árvore de decisão. Com a reclassificação dos mapas por notas, foi adotado um algoritmo de média ponderada para geração de um mapa síntese. O mapa

síntese proporcionou a identificação de áreas com maior ou menor tendência ao escorregamento em diferentes classes (nula, baixa, média e alta).

Outro trabalho desenvolvido na mesma temática, foi realizado por Bispo *et al.* (2009), para avaliar a suscetibilidade aos movimentos de massa. Utilizam técnicas de geoprocessamento, como os métodos de inferência: Booleano e Fuzzy Gama. Para a geração dos modelos foram utilizadas as variáveis: geomorfologia, geologia, pedologia e uso e cobertura do solo, e as variáveis de declividade, curvatura vertical e curvatura horizontal, obtidas a partir do TOPODATA (2008). As variáveis foram classificadas em cinco classes de suscetibilidade: Muito Alta (ma); Alta (a); Média (m); Baixa (b); e Muito (mb). Como resultado o método Fuzzy Gama foi mais satisfatório, pois a transformação dos valores qualitativos para valores numéricos tornou possível o tratamento das incertezas inerentes a fenômenos naturais.

### 3.2.1 Mapeamento de movimentos de massa

Os desastres naturais podem afetar os municípios colocando-os em situação de emergência ou estado de calamidade pública. Segundo Castro (1998), situação de emergência é o reconhecimento legal pelo poder público de situação anormal provocada por desastre, causando danos humanos, materiais e ambientais menos importantes, os quais são mais facilmente suportáveis e superáveis pelas comunidades afetadas. Por sua vez, estado de calamidade pública é o reconhecimento legal pelo poder público de situação anormal provocada por desastre, causando danos humanos, materiais e ambientais muito importantes, muitas vezes de caráter irreversível ou de recuperação muito difícil, os quais são muito dificilmente suportáveis e superáveis pelas comunidades afetadas.

Atualmente, devido à “cultura forense” adotada no Brasil, e em diversos países, pouco se tem feito na busca pela prevenção, ao invés da ação pós-evento. O mapa de suscetibilidade a movimentos de massa vem ao encontro na elaboração de medidas de prevenção e planejamento do uso e ocupação, pois indica a potencialidade de ocorrência de processos naturais e induzidos, expressando a suscetibilidade segundo classes de ocorrência. Sua característica principal consiste numa classificação de unidades de paisagem

em graus de suscetibilidade. É uma importante ferramenta de prevenção, podendo ser utilizada pelos órgãos gestores em ações pré-eventos.

Diversas metodologias são utilizadas para a confecção de mapas de suscetibilidade, no entanto ainda temos poucos dados de entrada disponíveis para a utilização em modelos. Dados que são muito importantes, pois são ligados diretamente ao principal efeito deflagrador das ocorrências de movimentos de massa como, por exemplo, mapas pedológicos, mapas geológicos e dados de precipitação. Infelizmente ainda é muito difícil encontrar uma série de dados sobre precipitação que seja longa o suficiente para ser considerada aceitável de ser utilizada em uma modelagem. Diversos climatologistas defendem que o tempo mínimo necessário são 30 anos de dados ininterruptos, no entanto o início dessas coletas de informações, ainda são muito recentes. A influência da quantidade e distribuição da precipitação nos movimentos de massa tem sido estudada e avaliada por muitos pesquisadores. Segundo Delmonaco *et al* (1995), as ações das precipitações nas encostas são as seguintes:

- Alteração dos parâmetros de resistência dos materiais: diminuição da coesão aparente, eliminação das tensões capilares (ou poropressões negativas), dissolução da cimentação;
- Aumento da sollicitação externa: aumento do peso específico dos materiais que formam a encosta;
- Avanço da frente de saturação no maciço, provocando o desenvolvimento de poropressões positivas nos solos, subpressões nas discontinuidades rochosas e forças de percolação;
- Alteração do perfil da encosta por erosão de materiais.

Segundo Castro (2006), a maioria dos casos de escorregamento em encostas ocorre na época de chuvas, sendo que grande parte no final da estação. A partir disso é comum apresentar a hipótese de que o mecanismo de escorregamento está relacionado com o aparecimento de poropressões positivas, provenientes da formação de nível d'água na proximidade da superfície ou na mesma das encostas. Segundo Lumb (1962), a quantidade de água que se infiltra no solo nunca é suficiente para saturar um espesso manto de solo, restringindo o efeito da precipitação apenas aos seis primeiros metros, explicando assim a ruptura superficial. É interessante notar que a ruptura em

muitos casos pode ser atribuída a diversos outros fatores, como planos de fraqueza, caminhos preferenciais de água, ruptura de algum tipo de tubulação, por exemplo. O reconhecimento do processo de instabilização é importante para decidir os melhores métodos de estabilidade dos taludes que serão adotados nos projetos.

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

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

É importante salientar também as escalas de mapeamento, segundo JTC-1 (2008), mapas de zoneamento de escorregamentos devem ser preparados em escala apropriada para mostrar a informação necessária em um nível de zoneamento específico. A escala deve ser selecionada levando em consideração os objetivos do mapa. Na prática, no entanto, a escala do mapeamento pode ser controlada pela escala dos mapas topográficos disponíveis, as escalas apropriadas para cada nível de detalhamento estão resumidas no Quadro 1.

Quadro 1: Escalas de mapeamento de movimentos de massa e sua aplicação

<b>Descrição da escala</b>	<b>Variação indicativa das escalas</b>	<b>Exemplos da Aplicação do Zoneamento</b>
<b>Pequena</b>	<1:100.000	Inventários de deslizamentos e suscetibilidade para informar tomadores de decisões e públicos em geral
<b>Média</b>	1:100.000 a 1:25.000	Inventário de deslizamento e zoneamento de suscetibilidade para construções regionais, ou projetos de engenharia de grande port. Mapeamento de perigo de nível preliminar para áreas locais.
<b>Grande</b>	1:25.000 a 1:5.000	Inventário de deslizamentos, zoneamento de perigo e suscetibilidade para áreas locais, zoneamento de perigo de nível intermediário e avançado para obras de desenvolvimento regional. Zoneamento de risco de nível preliminar a intermediário para áreas locais e estágios avançado de planejamento de projetos de engenharia de grande porte, estradas e ferrovias.
<b>Detalhada</b>	>5.000	Zoneamento de perigo e risco de nível intermediário e avançado para áreas locais e sítios específicos e para a fase de design da construção de estruturas de engenharia de grande porte, estradas e ferrovias.

Fonte: adaptado de JTC-1 (2008)

Santos *et al.* (2008) no trabalho intitulado *Cartografia de Susceptibilidade de Movimentos de Massa em Canelas-Penafiel* criaram mapas de topografia, litologia, ocupação do solo, e carta de espessura do solo. A partir desses mapas foram derivados mapas de declividades e de concavidade de vertentes, e analisados os fatores mais suscetíveis à ocorrência de movimentos de massa. Foram ponderados valores nas sobreposições: 10% para a carta de concavidades; 15 % para o uso e ocupação do solo; 20% para a espessura dos solos; 20% para o mapa litológico; e 35% para o mapa de declividades. Baseado nessa sobreposição foi elaborado um mapa de suscetibilidade com 3 classes: pouco suscetível, suscetível e muito suscetível.

Reckziegel (2012) com base em Sobreira (2001) e Julião *et al.* (2009), define a avaliação da suscetibilidade como uma característica inerente do meio, que representa a fragilidade do ambiente em relação aos movimentos de massa, e que é analisada através dos fatores de predisposição para a

ocorrência. Utiliza também o termo perigo baseado em Castro (2000), Matedi e Butzke (2001), Zuquette e Pejon (2004), caracterizado como o potencial de interação entre os seres humanos e um evento natural extremo. Sendo que o mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos de massa e de perigo é um procedimento essencial, para, associado com a vulnerabilidade da população, determinar as áreas de risco de movimentos de massa.

### **3.3 Modelos para identificar áreas suscetíveis a movimentos de massa**

Vários modelos têm sido utilizados para mapear, modelar, quantificar e identificar áreas suscetíveis a movimentos de massa. Como, por exemplo, os modelos de mineração de dados (RODRIGUES, 2002; CARDOSO, 2005; MARTINI *et al.*, 2006; SILVEIRA *et al.*, 2014;) e o *Shalstab* (FERNANDES *et al.*, 2001; OLIVEIRA, 2009; PECHINCHA & ZAIDAN, 2013; SANTOS, 2015).

Segundo Martini *et al.* (2006), para realizar uma avaliação quanto à suscetibilidade a escorregamentos, não existe uma metodologia que se aplique como modelo a ser seguido em todas as situações, mas sim algumas orientações que podem ser utilizadas. Para eles, é possível utilizar uma metodologia que avalie o histórico do local, através do levantamento de eventos anteriores, associando-os aos fatores condicionantes, magnitude e o tempo de recorrência, para determinar a suscetibilidade à ocorrência de novos escorregamentos. Os autores utilizaram a abordagem multicriterial para combinar de maneira coerente os diversos fatores condicionantes utilizados para estabelecer a suscetibilidade a escorregamentos.

Mineração de Dados (MD) pode ser entendido como um processo de busca e descoberta de informações em grande volume de dados (WITTEN *et al.*, 2011). Dentre os modelos de MD avaliados no mapeamento da suscetibilidade a deslizamentos estão, Redes Bayesianas (SONG *et al.*, 2009), Redes Neurais Artificiais (FALASCHI *et al.*, 2009), Máquina de Vetores Suporte (BALLABIO & STERLACCHINI, 2012) e Árvore de Decisão (BUI *et al.*, 2012).

Modelos de AD conseguem identificar relações entre a variável dependente e as múltiplas variáveis independentes por meio de um particionamento recursivo binário, em que os dados são divididos em grupos

cada vez mais homogêneos, utilizando para isso combinações das variáveis que melhor explicam a variação da variável dependente (QUINLAN, 1996).

O número de partições, ou seja, a profundidade da árvore é um parâmetro ajustável do modelo, quanto maior esse valor, maior e mais complexa a árvore resultante. Modelos por AD complexos decoram os dados de entrada e são menos generalistas (QIAN *et al.*, 2015). AD também podem ser utilizados na redução da dimensionalidade dos dados e na seleção de atributos mais informativos, calculando a importância do atributo para o modelo. A importância dos atributos é obtida quantificando a redução da impureza dos subconjuntos de amostras selecionados em cada nó da árvore e somando essa redução para cada atributo utilizado no nó.

Debastiani *et al.*, (2013) aplicaram a metodologia da árvore de decisão para identificar áreas de risco de deslizamento, e compararam três algoritmos de árvore de decisão, o método J48, o *Functional Trees* e o *Random Tree*, utilizaram como atributos para os classificadores, as informações de uso e cobertura do solo, imagem orbital, classe de solo, declividade, direção de fluxo, comprimento do fluxo, hidrografia e mapeamento das ocorrências de deslizamentos. Como resultado os algoritmos FT e J48 obtiveram resultados superiores ao *Random Tree*.

O modelo *Shalstab - Shallow Landslide Stability Analysis* (análise de estabilidade de deslizamentos rasos) é um modelo determinístico que leva em conta a combinação de outros dois modelos: um hidrológico de estado uniforme e outro de estabilidade de encosta infinita (DIETRICH & MONTGOMERY, 1998).

Diversos autores aplicaram as mais diversas metodologias de mapeamento de suscetibilidade. Elas podem ser divididas em 3 grandes grupos: determinística, estatística/matemática e heurística. Os conceitos e os principais autores utilizados nesse trabalho, e que aplicaram essas diversas metodologias estão resumidos no quadro 2:

Quadro 2: Principais metodologias de mapeamento de suscetibilidade a movimentos de massa, e principais autores que aplicaram as respectivas metodologias.

<b>Metodologia de Mapeamento de Suscetibilidade</b>	<b>Metodologia</b>	<b>Autores</b>
<b>Inventário de ocorrências (Levantamento em Campo)</b>	Metodologia mais básica de levantamento de dados, consiste basicamente em realizar o mapeamento das ocorrências in loco, ou por meio de imagens de satélite, ou informações regionais. Geralmente é realizado por órgãos de defesa civil logo após grandes ocorrências, também é frequentemente utilizada para validar outras metodologias.	ZUQUETTE <i>et al.</i> , 1995; ZUQUETTE & GANDOLFI, 2004; ZUQUETTE & PEJON, 2004; AHRENDT, 2005.
<b>Determinísticas</b>	Metodologia baseada em modelos hidrológicos e de estabilidade de encostas. Exemplos: <i>Shalstab</i> , <i>Sinmap</i> , <i>Trigrs</i> , entre outros.	FELLENIOUS, 1927; BISHOP, 1955; MORGENSTERN & PRICE, 1965; SPENCER 1967; JANBU, 1973; HAMMOND <i>et al.</i> , 1992; DIETRICH & MONTGOMERY, 1998; PACK <i>et al.</i> , 1998; ALEOTTI & CHOWDHURY, 1999; IVERSON, 2000; CASADEI <i>et al.</i> , 2003; GUIMARÃES <i>et al.</i> , 2003; FERNANDES <i>et al.</i> , 2004; AYALEW & YAMAGISHI, 2005; RAMOS <i>et al.</i> , 2007; GUIMARÃES <i>et al.</i> , 2009; TONUS, 2009; ZAIDA e FERNANDES, 2009; DOURADO & ROIG, 2012; MICHEL <i>et al.</i> , 2012; SCHENKEL, 2014; GODOY, 2015; SANTOS, 2015; LISTO <i>et al.</i> , 2016.
<b>Estatísticas e Matemáticas</b>	Metodologia baseada em análise estatística, a partir de amostras de ocorrências. Exemplos: Pesos de Evidência, Regressão Logística, Probabilidade Bayesiana, análise bivariada, multivariada, árvore de decisão <sup>1</sup> , entre outros. Em algumas referencias é tratada como modelos matemáticos, e em outras dividida em	CARRARA <i>et al.</i> , 1991; ANBALAGAM, 1992; SOETERS e VAN WESTERN, 1996; CLERICI <i>et al.</i> , 2002; SANTACANA <i>et al.</i> , 2003; VAN WESTERN <i>et al.</i> , 2003; AYALEW <i>et al.</i> , 2005; VAN DEN ECKAUT, 2006; VANACÔR & ROLIM, 2012; RODRIGUES, 2013; DEBASTIANI <i>et al.</i> , 2013; PINTO <i>et al.</i> , 2015; BARELLA, 2016.

<sup>1</sup> Árvores de decisão envolvem diversos classificadores e algoritmos para as tomadas de decisão, podem envolver algoritmos matemáticos e estatísticos, alguns pesquisadores, no entanto, classificam as árvores de decisão como métodos determinísticos.



	paramétricos e não-paramétricos.	
<b>Heurísticas</b>	<p>Metodologia baseada em combinação de mapas e dados geomorfológicos, onde os pesos de cada característica que ocasione suscetibilidade são definidos por profissionais que possuam conhecimento na área. Algumas metodologias podem ser consideradas híbridas ou conjuntas, pois se utilizam inicialmente de metodologia heurística para aferir pesos e em seguida é feito uma análise estatística.</p> <p>Exemplo: metodologia AHP.</p>	<p>STERVENSON, 1978; GUSMÃO FILHO <i>et al.</i>, 1992; TERLIEN, 1996; MANTOVANI, 1996; PEZHAM <i>et al.</i>, 1998; BOBROWSKY <i>et al.</i>, 1998; VAN WESTERN e BRAND, 1998; GUZZETTI <i>et al.</i>, 1999; VAN WESTEN, 2000; FERNANDES <i>et al.</i>, 2001; RODRIGUES, 2003; MARCELINO, 2003; MAGALHÃES <i>et al.</i>, 2005; CERRI <i>et al.</i>, 2007; TULER <i>et al.</i>, 2007; TULER <i>et al.</i>, 2008; YALCIN, 2008; YOUNG <i>et al.</i>, 2010; CARDOZO &amp; HERRMANN, 2011; FARIA, 2011; GEMITZI <i>et al.</i>, 2011; POURGHASEMI <i>et al.</i>, 2012; MACEDO <i>et al.</i>, 2012; SAMPAIO <i>et al.</i>, 2013; SILVEIRA <i>et al.</i>, 2013; BRITO, 2014; CARMO <i>et al.</i>, 2016.</p>

Fonte: elaborado pelo autor

Faria *et al.* (2008) comparam duas metodologias de mapeamento. A primeira utiliza um modelo matemático determinístico (modelo *Shalstab*), e a segunda elaborada a partir de um mapeamento direto em campo. Destacam que a análise a partir do modelo (mapeamento indireto) permitiu constatar que o mesmo deve se basear em dados concretos, pois a falta dessas informações de entrada podem comprometer os dados gerados. Entretanto, no modelo de mapeamento direto foram observadas algumas falhas, tais como a homogeneização dos dados ao longo da bacia (espessura do solo, densidade global do solo saturado, etc.), e a indefinição dos dados da coesão do solo. Concluem que monitoramentos em campo e análises de inventários de cicatrizes devem ser usados para validar esses resultados, diminuindo assim a probabilidade de erro.

Zaidan & Fernandes (2009) aplicaram metodologia para a determinação de áreas suscetíveis a escorregamentos na bacia de drenagem urbana, na escala 1:2.000. Utilizaram o Modelo *Shalstab*, que leva em consideração os fatores topográficos no processo de modelagem e previsão da susceptibilidade dessas áreas com o auxílio de softwares de Geoprocessamento.

Pinto *et al.* (2015) aplicaram uma modelagem preditiva em Sistemas de Informações Geográficas por meio da Avaliação Multicritério pelo método da Média Ponderada Ordenada de fatores condicionantes, selecionados,

padronizados, posteriormente agregados e combinados. A cartografia do cenário de suscetibilidade resultante foi validada por retroanálise, sobrepondo-se ao registro obtido em imagens de cicatrizes do evento reportado, com coincidência de 82,56% em classes mapeadas como Alta e Muito Alta Suscetibilidade. O mapeamento da suscetibilidade aos movimentos de massa com uso da Avaliação Multicritério pelo método da Média Ponderada demonstrou considerável eficiência.

## **CAPÍTULO 2 - Resultados na forma de Artigos Científicos**

---

Neste capítulo serão apresentados os resultados da tese em formato de artigos científicos. Ao todo foram publicados 3 artigos científicos em revistas nacionais.

### **Artigo 1:**

O primeiro artigo intitulado: “Desastres Associados a Movimentos de massa: uma revisão de literatura” foi publicado na revista online do Boletim Goiano de Geografia, revista classificada atualmente com Qualis A1 na área de Geografia.

Este artigo aborda os conceitos relativos a movimentos de massa e algumas das principais referências nessa temática, são discutidos também os conceitos mais utilizados e que são relacionados a desastres naturais tais como: suscetibilidade, vulnerabilidade, perigo e risco e também dois dos principais tipos de movimentos de massa: deslizamentos e corridas.

# DESASTRES ASSOCIADOS A MOVIMENTOS DE MASSA: UMA REVISÃO DE LITERATURA

DISASTER ASSOCIATED WITH MASS MOVEMENTS: A LITERATURE REVIEW

## DESASTRES ASOCIADOS A MOVIMIENTOS DEL TERRENO: UNA REVISIÓN DE LA LITERATURA

Eduardo Samuel Riffel – Universidade Federal do Rio Grande do  
Sul – Porto Alegre – Rio Grande do Sul – Brasil  
edriffel@gmail.com

Laurindo Antonio Guasselli – Universidade Federal do Rio Grande  
do Sul – Porto Alegre – Rio Grande do Sul – Brasil  
laurindo.guasselli@ufrgs.br

Luiz Antonio Bressani – Universidade Federal do Rio Grande do  
Sul – Porto Alegre – Rio Grande do Sul - Brasil  
bressani@ufrgs.br

### Resumo

Os movimentos de massa constituem, juntamente com as enchentes, um dos desastres que apresenta o maior grau de recorrência em todo o mundo e, portanto, são causadores de danos e prejuízos às sociedades, particularmente em cidades densamente povoadas em zonas de relevo acidentado. No entanto, muitas vezes, ainda não existe um consenso acerca dos conceitos utilizados pelos diversos órgãos de pesquisa e de defesa civil. Assim, faz-se necessário organizar as informações referentes a esses eventos adversos através de análise, identificação e classificação. Como diversas medidas de mitigação e de auxílio devem ser tomadas pós-desastre, tais medidas precisam ser coerentemente estabelecidas. Diante disso, este trabalho objetiva revisar a literatura dos conceitos relacionados com desastres, tais como suscetibilidade, vulnerabilidade, perigo e risco, buscando conceitos atuais relacionados aos principais tipos de movimentos de massa e suas características.

Palavras-chave: suscetibilidade, vulnerabilidade, perigo, risco.

### Abstract

The mass movements are, together with the flooding, one of the disasters with the highest degree of recurrence in the world and, therefore, are causing damages to companies, particularly in densely populated cities in hilly areas. However, often there is still no consensus among the concepts used by the various bodies of research and civil defense. Thus, it is necessary to organize information regarding adverse events, through his analysis, identification and classification. Different measures of mitigate and assistance should be taken post-disaster, such measures need to be coherently established. Therefore, this work aims to review the literature of the concepts related to disasters as susceptibility, vulnerability, hazard and risk, seeking current concepts related to the main types of mass movements and their characteristics.

Keywords: susceptibility, vulnerability, hazard, risk.

## Resumen

Los movimientos de masa, junto con las inundaciones, constituyen uno de los desastres que presenta mayor grado de incidencia y son, por eso, causadores de daños y prejuicios para las sociedades, particularmente en ciudades densamente pobladas en zonas montañosas. A pesar de eso, es frecuente verificar que aún no existe un acuerdo relacionado a los conceptos usados por los diferentes órganos de investigación y de defensa civil. Por lo tanto, es necesario organizar las informaciones relacionadas a esos desastres mediante análisis, identificación y clasificación. Como varias medidas de mitigación y auxilio deben ser tomadas después de cada desastre, esas medidas necesitan ser coherentemente establecidas. Partiendo de esa percepción, el objetivo de este trabajo es revisar la literatura de los conceptos relacionados a los desastres, tales como susceptibilidad, vulnerabilidad, peligro y riesgo, buscando conceptos actuales relacionados a los principales tipos de movimientos de masas y sus características.

Palabras-claves: susceptibilidad, vulnerabilidad, peligro, riesgo.

## Introdução

O relatório apoiado pelas Nações Unidas revela que, em 2013, 22 milhões de pessoas em todo o mundo foram deslocadas em decorrência de desastres naturais provocados, em grande parte, por terremotos ou eventos climáticos. O relatório “Estimativas Globais 2014: pessoas deslocadas por desastres”, realizado pelo Centro de Monitoramento de Deslocados Internos do Conselho Norueguês de Refugiados (CMDI), mostra que o risco de deslocamento devido a desastres mais do que dobrou nos últimos 40 anos, em grande parte devido ao crescimento e a concentração das populações urbanas, especialmente nos países mais vulneráveis (UN, 2014).

O aumento das ocorrências de desastres e das áreas de risco traz grandes preocupações sobre suas causas e consequências. No entanto, como esse cenário é recente, ainda não existe um consenso em relação aos conceitos utilizados pelos diversos órgãos de pesquisa e de defesa civil. Com o objetivo de organizar as informações referentes a esses eventos adversos, faz-se necessário o trabalho de análise, identificação e classificação desses eventos. Como diversas medidas de mitigação e de auxílio devem ser tomadas pós-desastre, tais medidas precisam ser coherentemente estabelecidas.

Os movimentos de massa constituem, juntamente com as enchentes, um dos desastres que apresenta o maior grau de recorrência em todo o mundo, sendo ambos causadores de danos e prejuízos às sociedades, particularmente em cidades densamente povoadas em zonas de relevo acidentado. Estimativas mostram que a quantidade de movimentos de massa registrados no mundo supera as de outras ameaças naturais, como

sismos, furacões e vulcões (Chene Lee, 2004). Embora este tema seja amplamente estudado em diversos países, o Brasil ainda carece de materiais que reúnam esse conceitual. Diante disso, este trabalho tem por objetivo realizar uma revisão de literatura dos temas relacionados a movimentos de massa.

## Desastres

Inicialmente, faz-se necessário conhecer um pouco do conceito de desastres, que podem ser conceituados, de forma simplificada, como o resultado do impacto de um fenômeno natural extremo ou intenso sobre um sistema social, causando sérios danos e prejuízos que excedem a capacidade dos afetados em conviver com o impacto (Tobine Montz, 1997; UNDP, 2004). De acordo com a Política Nacional da Defesa Civil, na Resolução N° 3 de 02/07/99 (Brasil, 2012), desastre é 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 Defesa Civil, no Brasil, obedecendo às normativas da Política Nacional de Defesa Civil, classifica os desastres como naturais e humanos, sendo os desastres humanos aqueles gerados pelas ações ou omissões humanas, como incêndios industriais, contaminação de rios, entre outros. Os desastres naturais são causados pelo impacto de um fenômeno natural de grande intensidade sobre uma área ou região povoada, podendo ou não ser agravados pelas atividades antrópicas (Castro, 2003).

Segundo Oliveira (2010), desastre natural é todo fenômeno natural de grande intensidade, agravado ou não pela atividade humana. As diversas ocorrências de desastres naturais podem ser exemplificadas por inundações, abalos sísmicos, erosões, deslizamentos, incêndios florestais, tempestades, ciclones etc., todos passíveis de posicionamento e mensuração da extensão da área comprometida pelo desastre. De acordo com Scheuren et al. (2008), apenas no ano de 2007, 133 países foram atingidos por desastres naturais. Os prejuízos não se restringem apenas aos danos econômicos, contando-se também os ambientais e sociais. Para Braga et al. (2006), a grande incidência de eventos adversos justifica a necessidade de aprofundar o conhecimento científico sobre os efeitos desiguais destes

eventos na população, assim como o desenvolvimento de metodologias de mensuração da vulnerabilidade a estes eventos.

### Desastres no Brasil

Os desastres que ocorrem no Brasil são, na sua maioria, de origem atmosférica. A precipitação, seja em excesso ou em escassez, é o elemento atmosférico que mais contribui para a ocorrência de desastres na região Sul do Brasil. Os desastres possuem características e magnitudes variadas. Em consequência da adequação que o homem faz as suas necessidades, o ambiente, muitas vezes, não comporta todas essas modificações espaciais, acarretando diversos impactos ambientais (Teixeira e Satyamurty, 2004). Segundo a Instrução Normativa Nº 01, de 24 de Agosto de 2012 do Ministério das Cidades, desastre é o resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem, sobre um cenário vulnerável, causando grave perturbação ao funcionamento de uma comunidade ou sociedade, envolvendo extensivas perdas e danos humanos, materiais, econômicos ou ambientais, que excedem a sua capacidade de lidar com o problema usando meios próprios. No Brasil, as pesquisas sobre movimentos de massa ganham grande impulso com o trabalho de Guidicini e Nieble (1984), que apresenta uma sistemática de classificação de movimentos de massa, seus agentes e causas, além de métodos para cálculo de estabilidade de taludes. Os desastres, no Brasil, segundo Furlan et al. (2011), são resultado de uma combinação da ocorrência de eventos adversos com a vulnerabilidade física e/ou socioeconômica, destacando-se, portanto, a necessidade de conhecer espacialmente quais áreas são suscetíveis à ocorrência de eventos adversos e quais possuem características potencializadoras do risco.

Os conceitos de desastres têm sido amplamente discutidos por diversos autores nos últimos anos e, baseado no referencial analisado nesse trabalho, constata-se um consenso de que desastres consistem na ocorrência de um evento adverso que afeta um sistema social. Percebe-se que, para um evento ser considerado desastre, é preciso considerar o sistema social como elemento atingido. Para discutirmos os temas relacionados a movimentos de massa, devemos conhecer alguns conceitos que serão brevemente descritos a seguir, sendo eles: Suscetibilidade e Vulnerabilidade, Perigo e Risco.

## Suscetibilidade e Vulnerabilidade

Segundo Spink (2014), nas geociências, há dois fatores a serem considerados na análise de movimentos de massa: a suscetibilidade (maior ou menor propensão de instabilidade do solo, decorrente de características geológicas e geomórficas, somadas a valores de precipitação altos), e a vulnerabilidade (predisposição de pessoas e/ou construções a serem afetadas por ocasião de um desastre). A vulnerabilidade está obviamente associada ao uso e a ocupação do solo.

O IPT (2007) indica a potencialidade de ocorrência de processos naturais e induzidos em uma dada área, expressando-se segundo classes de probabilidade de ocorrência, relacionando suscetibilidade com processos naturais, e vulnerabilidade com processos induzidos.

Saito (2004) define suscetibilidade como uma característica inerente ao meio, representando a fragilidade do ambiente. Já Reckziegel (2012) define a avaliação da suscetibilidade como uma característica inerente ao meio, que representa a fragilidade do ambiente em relação aos movimentos de massa, e é analisada através dos fatores de predisposição para a ocorrência.

Baseado nos itens acima, pode-se concluir que a suscetibilidade está ligada apenas ao sistema natural, sem levar em consideração a ação antrópica, representando somente a fragilidade do ambiente, diferentemente do conceito de vulnerabilidade que, segundo o Ministério das Cidades (2012), é definido como o grau de perda para um dado elemento, grupo ou comunidade dentro de uma determinada área passível de ser afetada por um fenômeno ou processo. Para Silva (2012, p.1), vulnerabilidade é “o grau de resistência de um sistema socioeconômico em relação ao impacto dos perigos naturais e desastres tecnológicos ou ambientais.” É determinada pelo grau de consciência da população, por sua condição de vida, pela infraestrutura e pelas políticas públicas relacionadas à gestão de desastres. Para Galderisi et al. (2010), vulnerabilidade seria a combinação do estado de um sistema com outros fatores, como a capacidade de enfrentar e se recuperar de um evento catastrófico.

De maneira geral, percebe-se uma concordância pela maior parte dos autores em relação aos conceitos de suscetibilidade e vulnerabilidade, salvo algumas exceções em que a suscetibilidade foi relacionada com o componente socioeconômico. Para se trabalhar com vulnerabilidade em



uma comunidade, por exemplo, deve-se levar em consideração as condições humanas, visto que são elas que mais influenciam na severidade de um desastre. Fica evidente, dessa forma, que a vulnerabilidade está ligada à condição humana e sua capacidade de enfrentar um evento adverso.

### Perigo e Risco

O termo perigo (*hazard*) é, muitas vezes, confundido com o termo risco (*risk*), sendo que a tradução livre desses conceitos do inglês para o português pode ser a causa disso. No presente artigo, serão associados os termos com seus conceitos originais, isto é, perigo – *hazard* e risco - *risk*.

Para Bateira (2006), sempre houve muita confusão na utilização dos termos risco (*risk*) e perigo (*hazard*). Segundo Smith (1992; 1996), a discussão sobre as diferenças entre ‘*risk*’ e ‘*hazard*’ parece mais evidente. Ao definir risco como a probabilidade de ocorrência de um ‘*hazard*’, o autor aborda de forma direta o problema da distinção entre os dois termos. Assim, um ‘*hazard*’ não é mais do que uma ameaça potencial para a humanidade. Esta ameaça poderá ser de importância diversa consoante o tipo de consequências que acarreta, quer para o homem, quer para o ambiente. Dessa forma, para este autor, a magnitude e a intensidade das ocorrências que influem direta ou indiretamente na vida humana é informação essencial para a definição. Segundo Castro (2003, p.80), perigo “implica a existência do homem, que estima o que é, e o que não é um dano”, visto que nem sempre os fenômenos naturais causam prejuízos às comunidades, podendo, então, ser considerado apenas como um evento. Nesse sentido, Castro apresenta a definição adotada pelas Nações Unidas, a qual aponta que o perigo natural é “a probabilidade de ocorrência, em um determinado período, em uma determinada área, de um fenômeno natural potencialmente danoso” (NAÇÕES UNIDAS, 1984, apud Castro, 2003, p. 80). Assim, pode-se entender basicamente que perigo consiste em uma situação potencial para provocar danos, sendo que, associando o conceito aos movimentos de massa, essa situação potencial pode ser provocada por um fenômeno natural.

De acordo com Montoya (2013), embora o conceito de risco tenha ganhado muita importância nos trabalhos técnicos em anos recentes, existem diferentes percepções e definições do que é risco. O termo risco indica a probabilidade de ocorrência de algum dano a uma população

(pessoas ou bens materiais). É uma condição potencial de ocorrência de um acidente (Nogueira, 2002).

A Resolução nº. 2 de 12/12/94 (DOU, 1995) e a Resolução nº. 03 de 02/07/99 (DOU, 1999) definem risco como um acontecimento futuro, como a medida de danos ou prejuízos potenciais ao homem, expressa em termos de probabilidade.

O risco indica se um determinado evento, com uma intensidade específica, seja ele de origem natural ou humana, é mais ou menos provável, e quais os danos e prejuízos esperar, sempre levando em consideração os pontos fracos e fortes de uma comunidade em relação ao evento adverso. Quanto maior a probabilidade de o evento ocorrer com grande intensidade, e quanto mais significativos os danos e prejuízos previsíveis nestes casos, maior o risco (DEFESA CIVIL-SC, 2005).

Risco é também compreendido como a relação entre a possibilidade de ocorrência de um dado processo ou fenômeno e a magnitude de danos ou consequências sociais e/ou econômicas sobre um dado elemento, grupo ou comunidade. Quanto maior a vulnerabilidade, maior o risco. Para o JTC-1 (2008), risco é uma medida de probabilidade e severidade de um efeito adverso à saúde, à propriedade ou ao meio ambiente. Assim, o risco é frequentemente estimado pelo produto da probabilidade *versus* consequências. No entanto, uma interpretação mais geral de risco envolve uma comparação da probabilidade das consequências não em formato de produto.

Serpa (2001) define risco como a medida de perda econômica, de danos à vida humana e/ou de impactos ambientais, resultante da combinação entre a frequência de ocorrência e a magnitude das perdas ou danos (consequências). Segundo Farah (2003), no Brasil, há uma carência absoluta de dados confiáveis no que diz respeito ao tipo de risco. Quando se trata de risco, deve-se considerar a suscetibilidade à ocorrência de fenômenos e à vulnerabilidade (fragilidade social, densidade demográfica, infraestrutura, conhecimento e percepção do risco, situação econômica etc.) do sistema que está sob análise. Buscando sintetizar os conceitos de Suscetibilidade, Vulnerabilidade, Perigo e Risco, segue abaixo um quadro com os principais autores tratados nessa pesquisa e a sua definição em linhas gerais de cada conceito.

Percebe-se, a partir do Quadro 1, que ocorre um consenso por parte dos autores pesquisados nesse artigo em relação aos conceitos de suscetibilidade e vulnerabilidade, sendo a primeira considerada como uma propensão do terreno à ocorrência de fenômeno e/ou processo físico, e a segunda como a capacidade da sociedade enfrentar o desastre.

Também há consenso no conceito de perigo. No entanto, alguns autores citam outros dois termos. A ameaça, para algumas referências do Quadro 1, é considerada sinônimo do vocábulo perigo, bem como perigosidade, muito utilizado por autores portugueses, como descrito por Bateira (2006). O risco é utilizado a partir de duas abordagens, uma que o considera como uma probabilidade, que pode ser calculado e estimado, e que representa a maioria das referências citadas nesse artigo, outra que considera que o risco não pode ser quantificado, que ele deve ser analisado de forma empírica e isolada, sendo a segunda representativa da minoria dos autores citados.

Quadro 1- Conceitos de suscetibilidade, vulnerabilidade, perigo e risco elaborados pelas fontes citadas nesse trabalho.

	<b>Conceito:</b>	<b>Fontes:</b>	<b>Descrição:</b>
<b>Suscetibilidade</b>	Suscetibilidade é a propensão do terreno à ocorrência de fenômeno e/ou processo físico	Saito, 2004; Kobiyama, 2006; IPT, 2007; Fell et al., 2008; Julião et al., 2009; Galderisi et al., 2010; Sobreira e Souza, 2012; Diniz, 2012; Reckziegel, 2012; Silva, 2012; Coutinho, 2013; MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2013; Riffel e Guasselli, 2013;	Os autores consideram suscetibilidade como a propensão maior ou menor de ocorrência de um fenômeno, com base apenas nas características físicas.
<b>Vulnerabilidade</b>	Vulnerabilidade é a capacidade da sociedade de enfrentar e/ou suportar um evento catastrófico	Saito, 2004; Kobiyama, 2006; IPT, 2007; Fell et al., 2008; Julião et al., 2009; Galderisi et al., 2010; Reckziegel, 2012; Silva, 2012; Spink, 2014.	Alguns autores abordam vulnerabilidade considerando as características socioeconômicas. Alguns também trazem o conceito de resiliência, que consiste na capacidade da sociedade de suportar efeitos adversos.
<b>Perigo</b>	Perigo é uma situação potencial para provocar danos	Smith, 1992; Ojeda, 1997; Bateira, 2006; Kobiyama, 2006; Fell et al., 2008; Julião et al., 2009; Hermelin, 2007; Cardona et al., 2010.	Alguns autores utilizam o termo ameaça e perigosidade, como sinônimos de perigo, consistindo numa potencialidade, e não probabilidade como é classificado o risco. Segundo os autores, o perigo não pode ser estimado.
	Ameaça é uma situação potencial para provocar danos	CAMPOS, 1999; LAVELL, 1999; CARDONA, 2001.	Utilizam o conceito de ameaça ao invés do conceito de perigo, considerados por alguns autores como sinônimos (Campos, 1999; UN/ISDR, 2009; Monteiro & Pinheiro, 2012).

	<b>Conceito:</b>	<b>Fontes:</b>	<b>Descrição:</b>
<b>Risco</b>	Risco é a probabilidade de ocorrência de evento danoso a partir da relação entre Suscetibilidade e Perigo.	Cerri e Amaral, 1998; Aneas de Castro, 2000; Nogueira, 2002; Castro, 2003; Bateira, 2006; Carvalho e Galvão, 2006; Kobiyama, 2006; Carvalho, Macedo e Ogura, 2007; Fell et al., 2008; JTC-1, 2008; Julião et al., 2009.	Consideram risco uma probabilidade que pode ser estimada e calculada. Os termos mais utilizados para a formulação do conceito são suscetibilidade e perigo.
	Risco é caracterizado pela interação entre ameaça e vulnerabilidade.	Campos, 1999; Lavell, 1999; Cardona, 2001.	Utilizam o conceito de ameaça para trabalhar com o risco, visto que alguns autores consideram ameaça como sinônimo de perigo (Campos, 1999; UN/ISDR, 2009; Monteiro & Pinheiro, 2012).
		Otway, 1992; Duclos, 2002; Lagadec e Guilhou, 2004; Granjo, 2004.	Consideram o risco associado aos termos ameaça e vulnerabilidade, no entanto não consideram que o risco seja uma probabilidade, e não pode ser estimado.

Org: os autores

## Movimentos de Massa

Aqui serão abordados os principais tipos de movimentos de massa e os de maior ocorrência no Brasil, que são os deslizamentos e as corridas. Tais termos correspondem a processos definidos pelo IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas), propostos por Augusto Filho (1992), que é uma das classificações mais utilizadas atualmente. Devido aos diversos tipos de movimentos de massa, há uma grande dificuldade em se identificar corretamente qual o tipo de movimento ocorreu em um determinado evento. Em alguns casos, estes se confundem, dificultando ainda mais o entendimento dos mecanismos que influenciam na sua deflagração. Por exemplo, os deslizamentos e as corridas que, muitas vezes, encontram-se associados, pois o início da corrida está vinculado à ocorrência de um deslizamento anterior (Guidicini Nieble, 1984; IPT, 1991; Selby, 1993).

Segundo Silveira (2008), na bibliografia internacional, os movimentos de solo e rocha são conhecidos e classificados como *landslides* pelos autores americanos, *landslips* pelos ingleses, *massmovements* por alguns engenheiros geotécnicos e geomorfólogos, *slope movements* pela maioria dos engenheiros geotécnicos e *masswasting* pela maioria dos geomorfólogos.

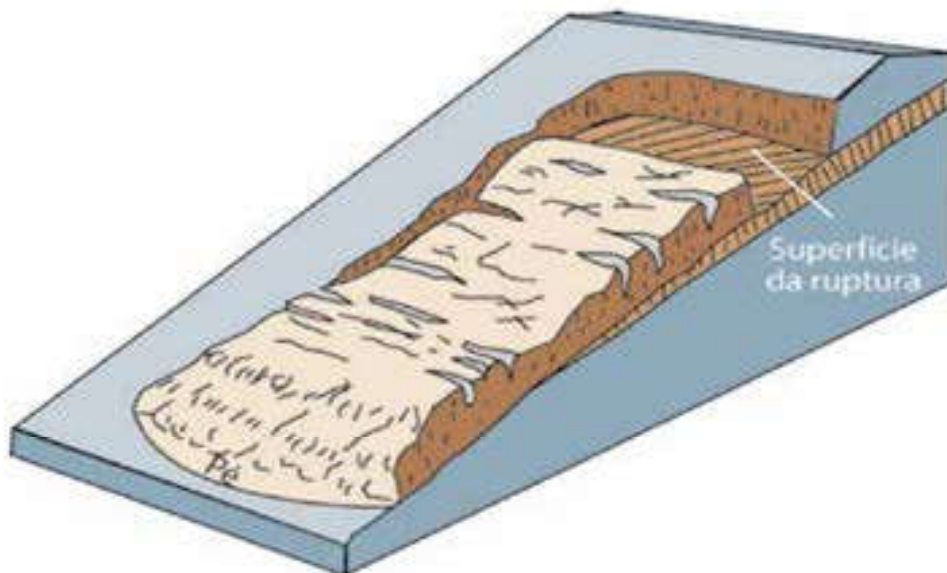
De maneira geral, pode-se definir *landslides* como um termo utilizado para denominar diversos tipos de movimentos de massa, quedas, tombamentos, deslizamentos, fluxos e/ou afundamentos ao longo de placas.

Analisando os diferentes conceitos internacionais para os movimentos em vertentes ou encostas, Nummer (2003) conclui que o termo *landslides* pode ser utilizado como sinônimo de movimento de massa (*massmovements*). Isso significa, em termos mais amplos, todo e qualquer movimento de materiais terrosos ou rochosos, não importando sua forma, sua velocidade e nem o processo que o gerou.

### Deslizamentos

Os deslizamentos são processos marcantes na evolução das encostas, caracterizando-se por movimentos rápidos (m/h a m/s), com limites laterais e profundidade bem definidos. Os volumes instabilizados podem ser facilmente identificados ou, pelo menos, inferidos. Podem envolver solo, saprólito, rocha e depósitos (Figura 1). São subdivididos em função do mecanismo de ruptura, geometria e material que mobilizam.

Figura 1 – Deslizamento planar



Fonte: Highland, 2008

Os principais agentes deflagradores deste processo são as chuvas. Os índices pluviométricos críticos variam de acordo com a região, sendo

menores para os deslizamentos induzidos e maiores para os generalizados (IPT, 2007). Entretanto, deve-se considerar que outros autores consideram que a força gravitacional é mais importante na ocorrência de deslizamentos do que a chuva. (Christofoletti, 1980; Giannini e Riccomini, 2001).

Para a Secretaria Nacional de Defesa Civil (2003), deslizamento é um fenômeno provocado pelo escorregamento de materiais sólidos, como solos, rochas, vegetação e/ou material de construção ao longo de terrenos inclinados, denominados de “encostas”, “pendentes” ou “escarpas”.

Existem vários tipos de deslizamentos propriamente ditos, como os planares ou translacionais, os circulares ou rotacionais, os em cunha e os induzidos. A geometria destes movimentos varia em função da existência ou não de estruturas ou planos de fraqueza nos materiais movimentados que condicionam a formação das superfícies de ruptura.

Os deslizamentos planares ou translacionais em solo são processos muito frequentes na dinâmica das encostas serranas brasileiras, ocorrendo predominantemente em solos pouco desenvolvidos das vertentes com altas declividades. Os deslizamentos induzidos ou causados pela ação antrópica são aqueles cuja deflagração é causada pela execução de cortes e aterros inadequados, pela concentração de águas pluviais e servidas, pela retirada da vegetação etc. Muitas vezes, estes deslizamentos induzidos mobilizam materiais produzidos pela própria ocupação, envolvendo massas de solo de dimensões variadas, lixo e entulho (IPT, 2015).

## Corridas

As corridas de detritos são movimentos gravitacionais complexos de massa, ligados a eventos pluviométricos excepcionais. Ocorrem a partir de deslizamentos nas encostas e mobilizam grandes volumes de material, sendo o seu escoamento ao longo de um ou mais canais de drenagem, tendo comportamento líquido viscoso e alto poder de transporte (IPT, 2007).

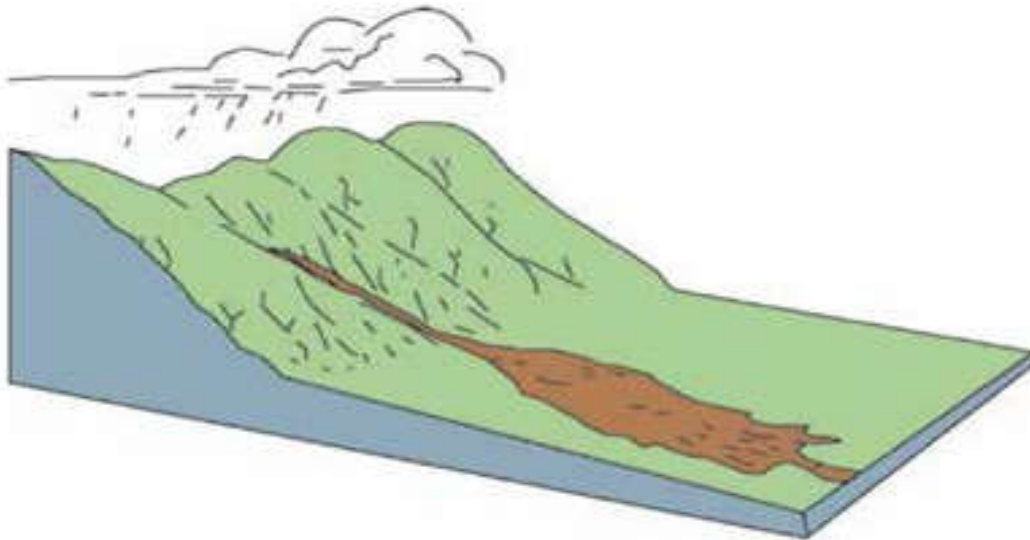
Estes fenômenos são mais raros que os deslizamentos, porém podem provocar consequências de magnitudes superiores devido ao seu grande poder destrutivo e extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas (Figura 2).

As corridas de detritos abrangem uma gama variada de denominações na literatura nacional e na internacional (corrida de lama –*mudflow*, corrida de massa – *massflow*, corrida de blocos –*debrisflow* etc.),



principalmente em função de suas velocidades e das características dos materiais que mobilizam.

Figura 2 – Corridas de detritos



Fonte: Highland, 2008

Segundo Stiny (1910), fluxo de detritos é a descrição de uma torrente escoando em uma montanha carregando sólidos suspensos e transportando determinada quantidade de massa erodida. Como a quantidade de massa transportada aumenta, em determinado momento, ela se transforma em uma massa viscosa contendo a mistura de água, solo, areia, pedras, rochas e madeira, de modo que este escoamento se assemelha à lava vulcânica transitando em um vale. O fluxo de detritos é um mecanismo de ruptura complexo que pode se manifestar em decorrência do aumento de poro pressões nas discontinuidades da rocha provocado por chuvas intensas e prolongadas, ou ainda pela ação de sismos. Os movimentos definidos como fluxos diferenciam-se dos demais movimentos de massa devido à características peculiares, tais como: velocidade elevada, alta capacidade de erosão e destruição e transporte de detritos a grandes distâncias em períodos de tempo muito curtos (Kanjiet al., 1997; Massad et al., 1997 e 1998).

As corridas de detritos são consideradas o tipo de movimento de massa de maior poder destrutivo e de maior carregamento de materiais. Segundo Cruden e Varnes (1996), o termo fluxo de detritos ou *debrisflow* representa um fenômeno completo de movimento de massa

(escorregamento e propagação de material grosseiro), o qual inclui o início do deslocamento em uma declividade acentuada, escoando rapidamente em um canal confinado à deposição em um leque de detritos.

Quadro 2 - Conceitos de deslizamentos e corridas elaborados pelas fontes citadas nesse trabalho.

	Conceito	Fontes	Descrição
Deslizamento	Fenômeno provocado pelo escorregamento de materiais sólidos como solos, rochas, vegetação e/ou material de construção ao longo de terrenos inclinados.	Christofoletti, 1980; Augusto Filho, 1992; Pinheiro et al., 2000; Giannini e Riccomini, 2001; Avelar et al., 2002; Nogueira, 2002; Secretaria Nacional de Defesa Civil, 2003; Nummer et al., 2003; Herrmann, 2004; Marcelino, 2004; Saito, 2004; Znamensky, 2005; Bateira, 2006; GOMES, 2006; VANACOR, 2006; Monguilhott, 2008; Silveira, 2008; Tominaga, 2009; Montoya, 2013.	Em linhas gerais, os autores revisados concordam com o conceito de deslizamento. Alguns autores, porém, divergem em relação à causa principal da ocorrência dos eventos, em alguns casos relacionados à força gravitacional (Christofoletti, 1980; Giannini e Riccomini, 2001), em outros à precipitação (IPT, 2007). A maioria dos autores, no entanto, sustenta que diversas variáveis devem ser levadas em consideração, tais como geomorfologia, geologia, solos, precipitação etc.
Corridas	Movimentos gravitacionais complexos de massa ligados a eventos pluviométricos excepcionais. Ocorrem a partir de deslizamentos nas encostas e mobilizam grandes volumes de material. O escoamento ocorre ao longo de um ou mais canais de drenagem. Têm comportamento líquido viscoso e alto poder de transporte.	Stiny, 1910; Christofoletti, 1980; Augusto Filho, 1992; Cruden e Varnes, 1996; Kanji et al., 1997; Massad et al., 1997 e 1998; Pinheiro et al., 2000; Avelar et al., 2002; Nummer et al., 2003; Saito, 2004; Marcelino, 2004; Znamensky, 2005; Bateira, 2006; Gomes, 2006; Vanacor, 2006; Highland, 2008; Monguilhott, 2008; Silveira, 2008; Gramani, 2013; Kobiyama e Michel, 2015.	A maioria dos autores concorda na conceituação de corridas. Variam apenas na nomenclatura utilizada, tais como fluxos, fluxos de detritos, fluxos de massa, corridas de massa. A respeito desse conceito destacamos o trabalho "Bibliografia dos trabalhos de fluxos de detritos ocorridos no Brasil no período de 1949-2014", de Kobiyama e Michel (2015), onde consta a quase totalidade dos trabalhos envolvendo a temática de corridas no Brasil.

Org: os autores

De maneira geral, percebe-se uma concordância por parte dos autores revisados quanto à conceituação de deslizamentos, exceto pela sua gênese. Alguns autores consideram, como principal causador, a força gravitacional, enquanto outros consideram a precipitação como o deflagrador principal dos deslizamentos.

Quanto às corridas, os autores citados abordam o conceito da mesma forma, variando apenas algumas terminologias, tais como: corridas, fluxos, corridas de massa etc. Também concordam que tanto para os



deslizamentos quanto para as corridas devem ser levados em consideração diversos elementos (geologia, solos, precipitação, geomorfologia etc.).

Com base nos conceitos analisados, percebe-se que os desastres associados a movimentos de massa ocorrem pela conjunção de diversos fatores, como os deslizamentos e/ou as corridas em áreas vulneráveis e de risco. Destaca-se que os movimentos de massa por si só não geram desastres, a menos que causem impactos na sociedade.

### Considerações Finais

O aumento da ocorrência de desastres no Brasil representa também um aumento de perdas e danos com relação direta na perda de vidas e nos impactos na economia de estados e municípios. Por isso, é necessário mais investimentos na prevenção a partir de uma correta análise das áreas e das causas dos desastres. É importante ressaltar que a legislação nacional avançou em relação à redução de desastres, com a Lei Nº 12.608 de 2012, que institui a política nacional de Proteção Civil e define como responsabilidade da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios a adoção de medidas necessárias à redução dos riscos de desastre. Essa lei abrange também as ações de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação voltadas à proteção e à defesa civil.

É importante também ressaltar os compromissos que os governos em nível mundial têm tomado em relação à diminuição das consequências dos desastres diante da importância que as discussões sobre esses eventos adversos têm alcançado. O Marco de Sendai para a Redução de Riscos de Desastres 2015-2030 representa um importante passo para uma redução significativa das mortes, destruições e deslocamentos causados pelos desastres. Os 187 países que compareceram à Terceira Conferência Mundial da ONU para a Redução de Riscos de Desastres também reafirmaram a necessidade de antecipar, planejar e reduzir o risco para proteger pessoas, comunidades e países de forma mais efetiva. Construir uma maior resiliência também é considerada uma medida “urgente e crítica” (ONU, 2015).

Segundo Bateira (2006), a análise dos riscos naturais aparece cada vez mais como uma análise que integra o meio físico e a ação humana. O homem é um elemento da vida e da dinâmica terrestre, o que torna mais difícil a análise do risco natural separadamente da análise de todos os outros riscos, nomeadamente os riscos tecnológicos. A relação do homem

com o meio tem se intensificado, mas apenas atualmente a sociedade está percebendo as consequências de suas ações. A análise dos conceitos de risco e vulnerabilidade, conceitos ligados diretamente à sociedade, são conceitos essenciais ao se trabalhar com movimentos de massa.

De forma objetiva, a partir das referências analisadas, pode-se considerar a suscetibilidade como uma característica física/natural do meio para a ocorrência de um evento. Essas características podem tornar determinada porção do relevo suscetível a deslizamento, independente da influência antrópica. O perigo é, por sua vez, uma situação potencial de ocorrência de um determinado evento, contanto que alguns autores utilizem o termo “ameaça” para referir esse conceito. A vulnerabilidade é um conceito relacionado ao ser humano e a sua capacidade de suportar o desastre. Risco ainda é o conceito que gera mais confusão, e a maioria dos autores, levando em consideração o perigo e a vulnerabilidade, classifica o risco como a probabilidade de ocorrência de um desastre, considerando também que o risco é um dado que pode ser quantificado.

Em relação aos movimentos de massa, percebe-se um consenso em relação à diferenciação entre deslizamentos e corridas. São claras as características entre as suas dimensões e seu poder destrutivo, sendo relevante discutir alguns fatores que podem levar à sua gênese, como a influência da força gravitacional e da água, por exemplo. Ao analisarmos os desastres a partir dos movimentos de massa, devemos considerar uma conjunção de fatores que são os elementos naturais e sociais do meio, representados pela suscetibilidade, perigo, vulnerabilidade e risco. Entretanto, esses conceitos ainda devem ser muito debatidos, pois os conhecimentos teóricos sobre os desastres e movimentos de massa podem contribuir para o entendimento dos processos envolvidos e o avanço das pesquisas.

## Referências

ANEAS DE CASTRO, S. D. Riesgos y peligros: una visión desde lá Geografía. *Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*. Barcelona, n. 60, 15 de ma 2000.

AUGUSTO FILHO, O. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 1, 1992, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: ABMS/ABGE. 1992. p. 721-733.

AVELAR, A.S.; LACERDA, W.A.; COELHO NETTO, A.L. Análise de susceptibilidade a movimentos de massa no Maciço da Tijuca (RJ) utilizando SIG. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 3, 2002, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: ABMS/ABGE. 2002. p.133-140.

BATEIRA, C. *Recuperação de paisagens de terraços e prevenção de riscos naturais*. Porto-Portugal. TERRISC: (SUDOE III B). 2006.

BRAGA, T. M; et al. Avaliação de metodologias de mensuração de risco e vulnerabilidade social a desastres naturais associados à mudança climática. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS POPULACIONAIS, 15., 2006, Caxambu, *Anais eletrônicos...* ABEP, 2006. Disponível em: <[www.abep.nepo.unicamp.br/encontro2006/.../\\_204.pdf](http://www.abep.nepo.unicamp.br/encontro2006/.../_204.pdf)> Acesso em: 15 jul. 2014.

BRASIL. Instrução Normativa Nº 01, de 24 de Agosto de 2012. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília: DF, 31 de ago. 2012 p. 30-39.

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

\_\_\_\_\_. *Anuário Brasileiro de Desastres Naturais 2012*. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2012.

\_\_\_\_\_. *Manual de Desastres*. Vol. 1 – Desastres, Secretaria Nacional de Defesa Civil 2003. 69. Disponível em: <http://www.defesacivil.mg.gov.br/conteudo/arquivos/manuais/Manuais-de-Defesa-Civil/Manual-PLANEJAMENTO-1.pdf>> Acesso em 23 mar 2015.

BUENO, L. S.; LAPOLLI, E. M.; LAPOLLI, F. R. Estudo em Áreas de Ocupação Urbana com Fatores de Risco: O Caso do Bairro Córrego Grande – Florianópolis – SC. In: Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 28., 2002, Cancun, Mexico, *Anais...* 2002.

CARDONA, O.D., BERTONI, J.C., GIBBS, T., HERMELIN, M., Y LAVELL, A. *Entendimiento y gestión del riesgo asociado a las amenazas naturales: un enfoque científico integral para América Latina y El Caribe*. In: ICSU - LAC. Ciencia para una vida mejor: desarrollando programas científicos regionales en áreas prioritarias para América Latina y El Caribe. Volumen 2. ICSU - LAC / CONACYT: Rio de Janeiro y Ciudad de México, 2010, 88p.

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

\_\_\_\_\_. *Geomorfologia*. [S.l.]: Notas explicativas [2005]. Disponível em: <<http://www.funape.org.br/geomorfologia/>>. Acesso em: 22 nov. 2014.

CASTRO, A. L. C. *Manual de desastres: desastres naturais*. Brasília: MIN, 2003. 174p.

CASTRO, J. F. M. Mapa Morfodinâmico: Uma Abordagem Metodológica de Uso de Sistema de Informação Geográfica. *Revista Geociências*, UNESP, Rio Claro, v. 17, p.161-185, 2003.

CHEN C.Y. LEE W. C. Damages to school infrastructure and development to disaster prevention education strategy after Typhoon Morakot in Taiwan,

*Disaster Prevention and Management: An International Journal*, v. 21 n. 5, p.541-555, 2004.

COUTINHO, R. Q. (Coord. e Org.). *Parâmetros para a cartografia geotécnica e diretrizes para medidas de intervenção de áreas sujeitas a desastres naturais*. Recife: Ministério das Cidades; Universidade Federal de Pernambuco; GEGEP; DECivil, 2013. 376p. (Documento Técnico)

CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*. São Paulo: Edgard Blucher, 1980. 188 p.

DEFESA CIVIL-SC, *Os CONSEGS e a redução de riscos*. Governo do Estado de Santa Catarina, 2ª ed. 2008. 154p. Disponível em: <http://www.defesacivil.pr.gov.br/arquivos/File/publicacoes/LivroCONSEGSReducaodeRiscos.pdf>. Acesso em: 23 mar 2016.

DINIZ, N. C. Cartografia geotécnica por classificação de unidades de terreno e avaliação de suscetibilidade e aptidão. *Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental*, v. 2, n. 1, p. 29-77, 2012.

DUCLOS, D. (2002), *Société-monde: letempsdesruptures*, Paris, La Découverte. 2002, 256 p.

FARAH, F. *Ocupação urbana e instabilidade de encostas*. Coleção Habitare – habitação e encostas. São Paulo: IPT, v. 2, 2003. 312p.

FELL, R. et al. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning. *Engineering Geology*, v. 102, p. 83-111, 2008.

FERREIRA, D. *Sistema de informações geográficas participativo (SIG-P) na prevenção de desastres ambientais: estudo de caso do morro do baú em Ilhota/SC*. 132 f. Dissertação ((Mestrado Profissional em Planejamento Territorial e Desenvolvimento Socioambiental) –Universidade do Estado de Santa Catarina, Mestrado Profissional em Planejamento Territorial e Desenvolvimento Socioambiental, Florianópolis, 2012.

FURLAN, M. C.; LACRUZ, M. S. P.; SAUSEN, T. M. Vulnerabilidade socioeconômica à ocorrência de eventos extremos: proposta metodológica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15,. Curitiba. *Anais...* São José dos Campos: INPE, 2011. p. 4540-4546, Disponível em: <<http://urlib.net/3ERPFQRTRW/3A3P672>>. Acesso em: 15 mar 2015.

GALDERISI, A., CEUDECH, A., FERRARA, F. F., PROFICE, A. S. *Integration of different vulnerabilities vs. Natural and Na-tech Hazards*, 2010 apud Tapsell, S; McCarthy, S; Faulkner, H & Alexander, M (2010): Social Vulnerability and Natural Hazards. CapHaz-Net WP4 Report, Flood Hazard Research Centre – FHRC, Middlesex University, London.

GIANNINI, P.C.F.; RICCOMINI, C. *Sedimentos e processos sedimentares*. In: TEIXEIRA, W. et al. Decifrando a Terra. São Paulo: Of. de Textos, p. 167-190, 2001.

GRAMANI, M., *A corrida de detritos no Ribeirão Cagado, Serra do Mar, Município de Cubatao-SP*. In VI Conferencia Brasileira de Encostas. Angra dos Reis 2013.

GRANJO, P. Quando o conceito de risco se torna perigoso. *Análise Social*, v. 41, n. 181, 1167-1179, Imprensa de Ciências Sociais 2006.

GOMES, R. A. T. *Modelagem de Previsão de Movimentos de Massa a Partir da Combinação de Modelos de Escorregamentos e Corridas de Massa*. 2006. 101 f. Tese (Doutorado em Geografia) Universidade Federal de Goiás, 2006.

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

HERRMANN, M. L.; PELLERIN, J. R. G. M.; SAITO, S. M. *Análise das ocorrências de escorregamentos no estado de Santa Catarina com base nos formulários de avaliação de danos da defesa civil 1980 a 2003*. In: Simposio Brasileiro de Desastres Naturais, 1. *Anais...* Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004.

HERMELÍN, H. Sistemas morfogênicos contrastados em el Norte de la Cordillera Central Colombiana. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias*. v. 31, n. 119, p. 199-216, 2007.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO.; *Curso de treinamento de técnicos municipais para o mapeamento e gerenciamento de áreas urbanas com risco de escorregamentos e inundações*. Relatório Técnico 74186-205. São Paulo. 2004.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO; *Mapeamento e diagnóstico das áreas de risco associado a processos de instabilização do terreno nas encostas dos Morros de Arujá, SP*. Relatório Técnico 77889-205. São Paulo, 2005.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO; *Mapeamento de áreas de alto e muito alto risco a deslizamentos e inundações do município de Potim, SP*. Relatório Técnico 142750-205. São Paulo, 2015.

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

JULIÃO, R. P. (Coord.) et al. *Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) de base municipal*. Lisboa: Autoridade Nacional de Protecção Civil; Direcção-Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano; Instituto Geográfico Português, 2009.

KANJI, M. A., CRUZ, P. T., MASSAD, F., Debris flow affecting the Cubatão Oil Refinery, Brazil, *Landslides*, v.5, p. 71–82, 2008.

KOBIYAMA, M.; MICHEL, G.P. *Histórico de ocorrência de fluxos de detritos e seus estudos no Brasil*. In: Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, 11, João Pessoa/PB, *Anais...*, 2014. 20p.

KOBYAMA, M. *Prevenção de Desastres Naturais: Conceitos Básicos*. Curitiba: Ed. Organic Trading , 2006. 109 p.

LAGADEC, P. e GUILHOU, X. *O Fim do Risco Zero*, Lisboa, Instituto Piaget. (2004).

MARCELINO, E. V. *Mapeamento de áreas suscetíveis a escorregamento no município de Caraguatatuba (SP) usando técnicas de sensoriamento remoto e*



SIG. São José dos Campos. 2004. 228p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Inpe, 2004.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. *Capacitação em mapeamento e gerenciamento de risco*. [S.l.]. Disponível em: <http://www.defesacivil.mg.gov.br/conteudo/arquivos/manuais/Mapeamento.pdf>. Acesso em: 1 novembro 2015.

MONGUILHOTT, M. *Estudo de áreas suscetíveis a movimentos de massa na rodovia RS/486 – Rota do Sol*. Porto Alegre: UFRGS, 2008. 115 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MONTEIRO, J. B. & PINHEIRO, D. R. C. *O desastre natural como fenômeno induzido pela sociedade: abordagens teóricas e metodologias operacionais para identificação/mitigação de desastres naturais*. *Revista Geografia*, Juiz de Fora, v.2, n.1, p.1-9, 2012.

MONTOYA, C.A.H. *Incertezas, vulnerabilidade e avaliação de risco devido a deslizamento em estrada*. 2013, 250 f. Tese de Doutorado em Geotecnia / UnB, 2013.

NOGUEIRA, F.R. *Políticas públicas municipais para gerenciamento de riscos ambientais associados a escorregamentos em áreas de ocupação subnormal*. 2002, 256 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Universidade Estadual Paulista – UNESP. Rio Claro. 256p. 2002.

NUMMER, V.A *Parâmetros Geológico-Geotécnicos controladores dos movimentos de massa na rota do sol/ RS 486 – Itati, RS*. 2003. Tese (Doutorado) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

OJEDA, A.O. *Crecidas e inundaciones como riesgo hidrológico Un planteamiento didáctico*. *Revista Lurralde: Investigación de Espáicio*, v. 20, p. 261-283, 1997.

OLIVEIRA G.G. - *Modelos para Previsão, espacialização e análise das áreas inundáveis na bacia hidrográfica do Rio Caí, RS*. 2010, 149 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

OTWAY, H. (1992), *Public wisdom, expert fallibility: toward a contextual theory of risk*, In S. Krimsky e D. Golding (eds.), *Social Theories of Risk*, Westport, Praeger, 1992. p. 215- -228.

PINHEIRO, R.J.B.; BRESSANI, L.A.; BICA, A.V.D. *Movimentos de massa associados à encosta da Serra Geral no Estado do Rio Grande do Sul*. In: GEOSUL, 2000, Porto Alegre. GEOSUL. Porto Alegre: ABMS, Anais, v.1. p.115-127, 2000.

RECKZIEGEL, E. W.; *Identificação e mapeamento das áreas com perigo de movimento de massa no município de Porto Alegre, RS*. 2012. 90 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

RIFFEL, E.S.; GUASSELLI, L. A. *Mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos de massa na bacia hidrográfica do rio Paranhana, RS*. In: Laurindo AntonioGuasselli; Guilherme Garcia de Oliveira; Rita de Cássia Marques Alves. (Org.). *EVENTOS EXTREMOS NO RIO GRANDE DO SUL: INUNDAÇÕES E*

MOVIMENTOS DE MASSA. 1ed. Porto Alegre: Editora Evangraf, v. 1, p. 119-138, 2013.

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

SCHEUREN, J.M; POLAIN, O.; BELOW, R.; GUHA-SAPIR, D.; PONSERRE, S. 2008. *Annual Disaster Statistical Review – The Numbers and Trends 2007*. CRED - Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. 2008, Université Catholique de Louvain, Brussels, Belgium. Disponível em: <http://www.emdat.be/Documents>. Acesso em: 1 nov. 2014.

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

SERPA, R. R. *As metodologias de análises de risco e seu papel no licenciamento de indústrias e atividades perigosas*. In: Freitas, C.M. Souza, M.F. Machado, J.M. (org) *Acidentes industriais ampliados: desafios e perspectivas para o controle e a prevenção*. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 2001.

SILVA, F. A. *Percepção dos Riscos e Desastres Ambientais dos Anos de 2008 e 2011 em Jaraguá Do Sul – SC*. 2012. 106 f. Dissertação (Mestrado Em Geografia). Universidade Federal De Mato Grosso Do Sul. Três Lagoas, 2012.

SILVEIRA, R. M. *Comportamento Geotécnico de um Solo Coluvionar de São Vendelino (RS)*. 2008. 302 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2008.

SMITH, K. *Environmental hazards: assessing risk & reducing disaster*. London: Routledge, 1992. 324p.

SOBREIRA, F. G.; SOUZA, L. A. de. Cartografia geotécnica aplicada ao planejamento urbano. *Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental*, v. 2, n. 1, p. 79-97, 2012.

SPINK, M. J.; *Produção de sentidos no cotidiano: uma abordagem teórico-metodológica para análise das práticas discursivas*. In: SPINK. (Org.). *Práticas discursivas e produção de sentidos no cotidiano: aproximações teóricas e metodológicas*. Rio de Janeiro: Centro Edelstein de Pesquisas Sociais (Edição virtual), 2014.

STINY, J. *Die Muren*. Verlag der Wagner'schen Universitätsbuchhandlung, Innsbruck, 1910. Debris Flows. (English translation by M. Jakob and N. Skermer, 1997, 106pp.), EBA Engineering Consultants, Vancouver, Canada.

TEIXEIRA, M.S.; SATYAMURTY, P. *Dynamical and synoptic characteristics of heavy rainfall episodes in southern Brazil*. *Monthly Weather Review*, v. 135, p. 598-617, 2007.

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

TOMINAGA, L. K; SANTORO, J.; AMARAL, R. (organizadores). *Desastres Naturais: Conhecer para prevenir*. São Paulo: Instituto Geológico, 2009.

UN ISDR, 2014. *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction: Revealing Risk, Redefining*. Disponível em: <http://www.preventionweb.net/english/hyogo/gar/2014/en/home/index.html> Acesso em: 15 dez. 2014.

UN/ISDR. *Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres*. Ginebra, Suiza: UN, 2009

UNDP – United Nations Development Programme. *Reducing disaster risk: a challenge for development*. New York, USA: UNDP, 2004, 129p.

VANACÔR, R.N. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao mapeamento das áreas susceptíveis a movimentos de massa na região nordeste do Estado do Rio Grande do Sul. 2006, 132p. 2006. 132 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Universidade Federal do Rio Grande do Sul

ZNAMENSKY, D. *Mecanismos de formação das corridas detriticas em ambientes tropicais úmidos e a pesquisa de estruturas para o controle e manejo desses fenômenos*. 2005. Tese (Doutorado) Universidade de São Paulo, 2005.

---

Eduardo Samuel Riffel – Possui Graduação em Geografia pela Universidade Federal de Santa Maria e Mestrado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Atualmente é Doutorando em Geografia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul e Técnico em Geoprocessamento na 1ª Divisão de Levantamento subordinada à Diretoria do Serviço Geográfico.

---

---

Laurindo Antonio Guasselli – Possui Graduação em Geografia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Mestrado em Sensoriamento Remoto e Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela mesma Universidade. Atualmente é Professor do Departamento de Geografia pela Universidade Federal do Rio Grand

---

---

Luiz Antonio Bressani – Possui Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Mestrado em Engenharia Civil pela mesma Universidade. Possui Doutorado em Mecânica dos Solos pelo Imperial College de Londres. Atualmente Professor Titular do Departamento Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

---

Recebido para publicação em 02 de maio de 2016

Aceito para publicação em 19 de maio de 2016



**Artigo 2:**

O segundo artigo intitulado: “Mapeamento de áreas suscetíveis a deslizamentos e zoneamento de risco no município de Três Coroas – RS” foi publicado na Revista Brasileira de Geografia Física, revista classificada atualmente com Qualis B1 na área da Geografia.

Nesse artigo foi realizada uma comparação entre os produtos gerados a partir de um mapeamento de suscetibilidade utilizando parâmetros morfométricos obtidos através de Sensoriamento Remoto, e o mapeamento realizado em campo pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) no qual foram mapeadas as áreas de risco do município de Três Coroas.



# Revista Brasileira de Geografia Física



Homepage: [www.ufpe.br/rbgfe](http://www.ufpe.br/rbgfe)

## Mapeamento de áreas suscetíveis a deslizamentos e zoneamento de risco no município de três Coroas – RS

Eduardo Samuel Riffel<sup>1</sup>, Laurindo Antonio Guasselli<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Geógrafo pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), mestre e doutorando em Geografia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Avenida Bento Gonçalves, n 9500, Bairro Agronomia. Cep: 91501970 – Porto Alegre - RS. Email: [edriffel@gmail.com](mailto:edriffel@gmail.com) <sup>2</sup> Professor do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), possui graduação em Geografia, mestrado em Sensoriamento Remoto e doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Avenida Bento Gonçalves, n 9500, Bairro Agronomia. Cep: 91501970 – Porto Alegre - RS. Email: [Laurindo.guasselli@ufrgs.br](mailto:Laurindo.guasselli@ufrgs.br).

Artigo recebido em 02/02/2015 e aceito em 04/02/2016.

### RESUMO

Este trabalho consiste em um estudo realizado no município de Três Coroas - RS. Foram analisadas as ocorrências recentes de movimentos de massa e sua relação com as zonas de risco estabelecidas pela CPRM. A partir de parâmetros morfométricos, buscaram-se identificar os padrões de ocorrência de deslizamentos. Também buscou-se analisar a contribuição da ocupação para tais ocorrências, incluindo outros fatores que estão relacionados a movimentos de massa. A partir do padrão de ocorrência de movimentos de massa identificados no município, foi feito um mapa de áreas suscetíveis a movimentos de massa, dividido em 3 classes: alta, média e baixa suscetibilidade, e foi relacionado com as áreas de risco do município. Observou-se que algumas das ocorrências estão localizadas em áreas de vertentes côncavas e encostas íngremes, com exceção das que têm influências antropogênicas, que estão localizados em encostas convexas. Um fato que pode ser explicado pelo tipo de ocupação de área, que ocorre principalmente em pistas convexas e encostas íngremes, influenciada pela topografia da região. Pode-se também ver uma lista de ocorrências de deslizamentos de terra que resulta em áreas sensíveis para as áreas de risco estabelecidas pela CPRM, explicado pelo fato de que as ocupações geralmente se dão em áreas de alta declividade.

Palavras chave: Áreas de Risco. Movimentos de Massa. Sensoriamento Remoto.

### Mapping of areas susceptible to landslides and risk zoning in the city of Três Coroas-RS

#### Abstract

This work consists of a study conducted in the municipality of Três Coroas – RS. Recent occurrences of mass movements and their relationship to the risk areas established by CPRM were analyzed. From modeled geomorphological maps, geomorphological units, slope and altimetry, we sought to identify patterns in the occurrence of landslides. Also aimed to analyze the relationship of the occupation to the occurrence of such disasters, including other factors that are related to mass movements. From the pattern of occurrence of mass movements identified in the county, was made a map of susceptible to mass movement areas, divided into 3 classes: high, medium and low susceptibility, and it was related to the risk areas of the municipality. It was observed that some of the occurrences of mass movements are located in areas of concave slopes, and steep slopes, except for occurrences that have large anthropogenic influences, which are located on convex slopes. A fact that can be explained by the type of occupation of the area, which occurs mainly in convex slopes and steep slopes, influenced by the topography of the region. One can also see a list of occurrences of landslides and results areas as susceptible to the risk areas established by CPRM, explained by the fact that the occupations will generally give in areas of high slope.

Keywords: Risk Areas. Mass Movements. Remote Sensing.

## Introdução

Os desastres naturais constituem hoje um dos principais problemas socioeconômicos mundiais. Desastres naturais podem ser conceituados, de forma simplificada, como o resultado do impacto de um fenômeno natural extremo ou intenso sobre um sistema social, causando sérios danos e prejuízos que excedem a capacidade dos afetados em conviver com o impacto (Tobin & Montz, 1997; UNDP, 2004).

Para Braga et al. (2006) a grande incidência de eventos extremos justifica a necessidade de aprofundar o conhecimento científico sobre os efeitos desiguais destes eventos na população, assim como o desenvolvimento de metodologias de mensuração da vulnerabilidade a estes eventos.

Quanto a sua prevenção destaca Kobiyama et al. (2006) que em escala mundial, cada R\$ 1,00 investido em prevenção, equivale em média a R\$ 30,00 de obras de reconstrução pós-evento. Entre os fenômenos de maior ocorrência estão os deslizamentos, inundações e terremotos. O levantamento e a análise da espacialização das áreas de ocorrência de movimento de massa podem contribuir com propostas metodológicas para avaliar a ocorrência de padrões de comportamento e dinâmica desses processos no sentido de definir áreas suscetíveis e estabelecer zoneamentos, proporcionando ferramentas indispensáveis para reduzir os riscos ambientais, (Scheuren, 2008).

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

No município de Três Coroas, localizado na bacia do rio dos Sinos (RS), há uma recorrência de desastres naturais decorrentes de altos índices pluviométricos associados à ocupação e expansão urbana em encostas que apresentam alta declividade, PROSINOS (2012). A Lei Nº. 6.766 de 19 de dezembro de 1979 que regulamenta o parcelamento do solo urbano prevê a sua complementação por normas e leis Estaduais

e Municipais, buscando adequar esta às particularidades regionais e locais. Essa lei impõe restrições ao uso do solo, com destaque para o Art. 3º, Inciso III, *não será permitido o parcelamento do solo em terrenos com declividade igual ou superior a 30%, salvo os que sejam previamente pavimentado e saneado.*

A partir de um mapeamento morfométrico no município, foram identificadas áreas suscetíveis a movimentos de massa, utilizando dados referentes a declividades, unidades geomorfológicas e modelados geomorfológicos.

O CPRM ou Serviço Geológico do Brasil vem realizando um projeto denominado Ação Emergencial para Reconhecimento de Áreas de Alto e Muito Alto Risco a Movimentos de Massa e Enchentes no Brasil. O município de Três Coroas é um desses municípios e possui um dos maiores índices de ocorrências de desastres naturais, CPRM (2012), Defesa Civil-RS (2013).

Este trabalho visa comparar as áreas identificadas como suscetíveis no mapeamento realizado a partir de dados de Sensoriamento Remoto, com as áreas mapeadas como de risco pelo CPRM, identificadas em campo. Busca-se verificar a capacidade do mapeamento de suscetibilidade expressar a real situação do município de Três Coroas em relação às áreas de risco.

## Caracterização da área de estudo

O Município de Três Coroas está localizado a Nordeste do estado do Rio Grande do Sul nas seguintes coordenadas UTM 22 SAD 69: 6732000 - 6748000 N e 508000 - 534000 E, a uma altitude média de 56 metros (Figura 1). Segundo dados do IBGE, a população estimada em 2014 é de 25.822 habitantes e a área do município é de 185,53 km<sup>2</sup>, o município integra o Conselho Regional de Desenvolvimento Paranhana - Encosta da Serra. Faz divisa com os municípios de Gramado e Canela ao norte, São Francisco de Paula e Taquara a leste, Igrejinha a Sul e Santa Maria do Herval a Oeste (Eckardt, et al. 2011).

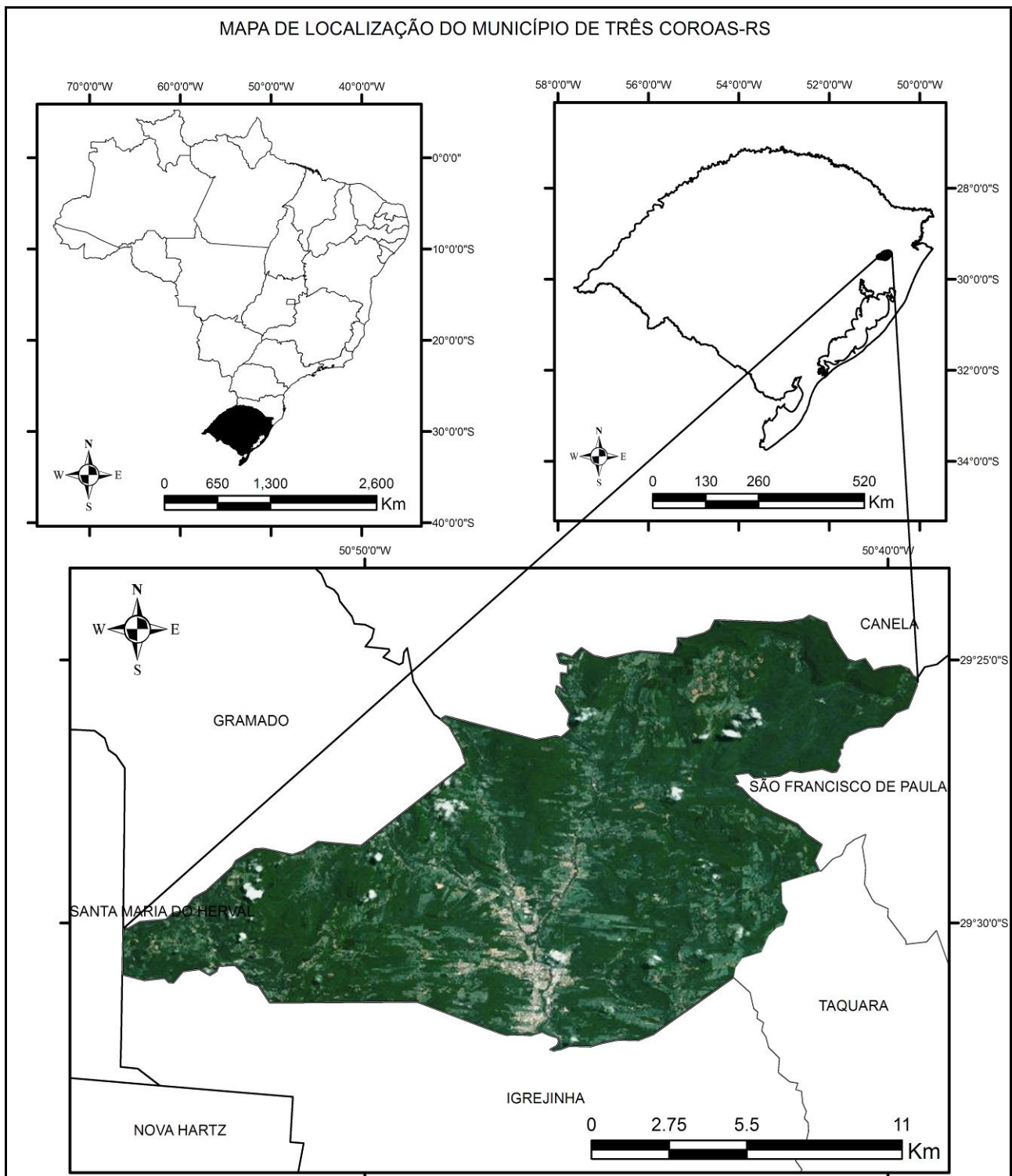


Figura 1- Localização do município de Três Coroas  
Elaboração: Riffel, E. S., 2016

### Material e métodos

Para alcançar o objetivo proposto se buscou analisar dados pré-existentes sobre as ocorrências de movimentos de massa, em jornais, sites de notícias, e site da Defesa Civil. Foram adquiridas e georreferenciadas imagens de satélite do sensor Landsat/TM, obtidas a partir da base de

dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE - no site [www.inpe.br](http://www.inpe.br). Também foi utilizada uma imagem do satélite *IKONOS II*, utilizada pelo CPRM e imagens de radar do *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)*, modelo de elevação com resolução espacial de 90

m, disponibilizados pela *National Aeronautics and Space Administration (NASA)*, <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>. Para o processamento das imagens digitais e a geração de uma base digital foi utilizado o software *ArcMap 9.3*;

Em expedições de campo foram obtidos dados referentes à localização de cicatrizes de movimentos de massa. Para cada ponto identificado foram coletadas suas coordenadas UTM através de um receptor GPS de precisão Leica SR-20. Os trabalhos de campo tiveram o acompanhamento da Defesa Civil e do corpo de bombeiros do município.

Foi realizada uma caracterização da área com base em dados morfométricos. Inicialmente a partir de imagem do radar SRTM foram extraídas curvas de nível como base para geração de mapas temáticos, utilizando a ferramenta *Spatial Analyst* do software *ArcMap 9.3*. Foram utilizados dados de Unidades Geomorfológicas, Modelados Geomorfológicos, declividade e altimetria que foram cruzados com os pontos de ocorrência de movimentos de massa (Figura 2). Esses cruzamentos objetivaram identificar a existência de padrões nas ocorrências de movimentos de massa a partir de uma média ponderada, executada na ferramenta *Raster Calculator*, do ArcMap.

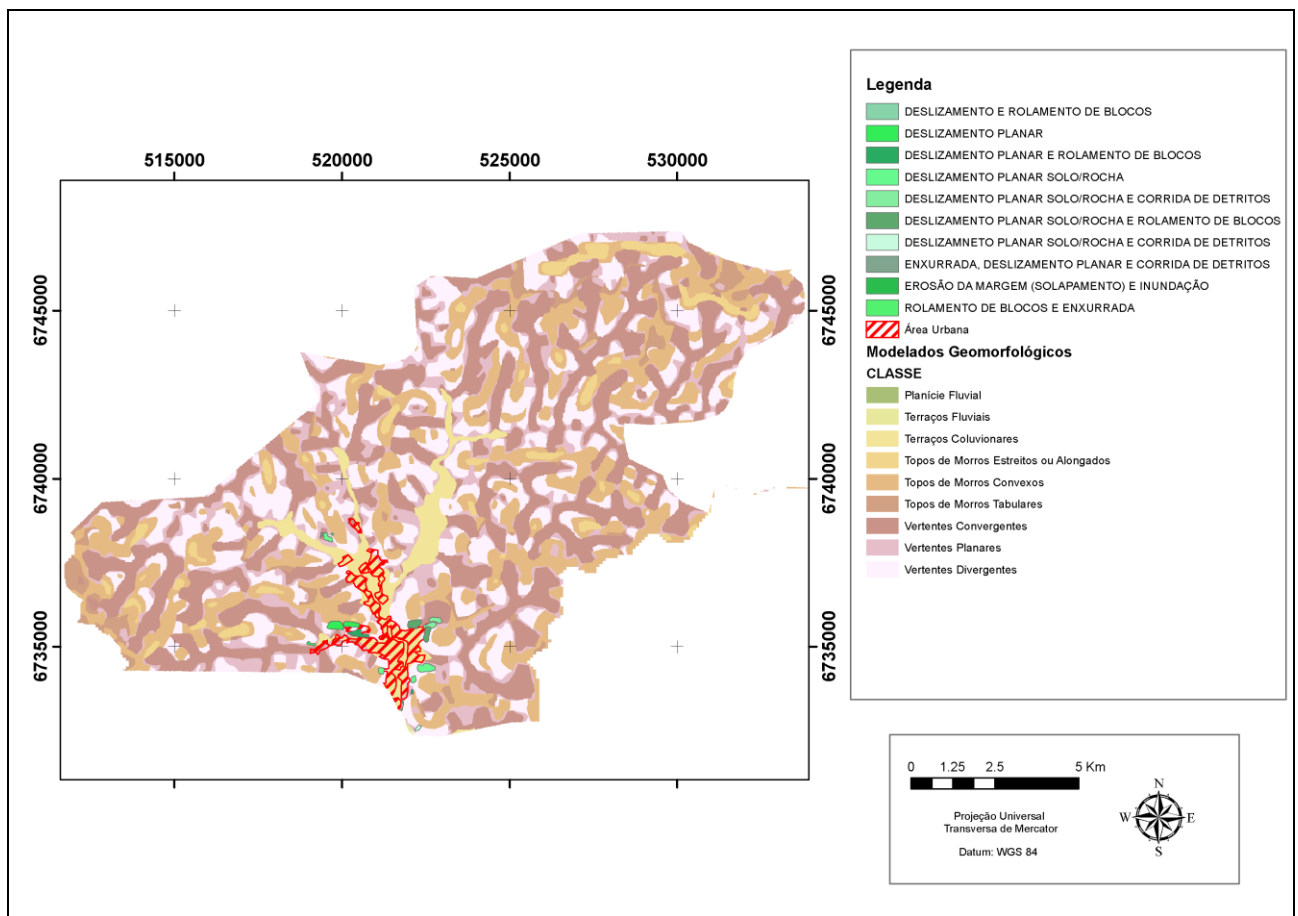


Figura 2- Mapa de modelados Geomorfológicos e áreas de risco do município de Três Coroas  
Elaboração: Riffel, E. S., 2016

A definição do nível de suscetibilidade tomou como base os padrões encontrados nas áreas com ocorrência de movimento de massa. Foi atribuído um peso para cada variável de acordo com seu padrão de ocorrência e sua importância na área de estudo: às unidades geomorfológicas que apresentaram menos correlação, foi atribuído um peso menor (peso 1); aos modelados geomorfológicos, foi atribuído um peso

intermediário, (peso 2); e a declividade, que apresentou a maior influência, foi atribuído maior peso (peso 3), principalmente pela importância da linha de escarpa na ocorrência dos deslizamentos (Figura 3). A partir da ferramenta *raster calculator*, cada pixel possui um valor atribuído de acordo com sua recorrência, e assim no mapa final de suscetibilidade o resultado da soma gerou três classes de suscetibilidade: alta suscetibilidade

= valor 3 (cor marrom escuro); média suscetibilidade = valor 2 (cor amarela); baixa

suscetibilidade = valor 1 (cor amarela clara).

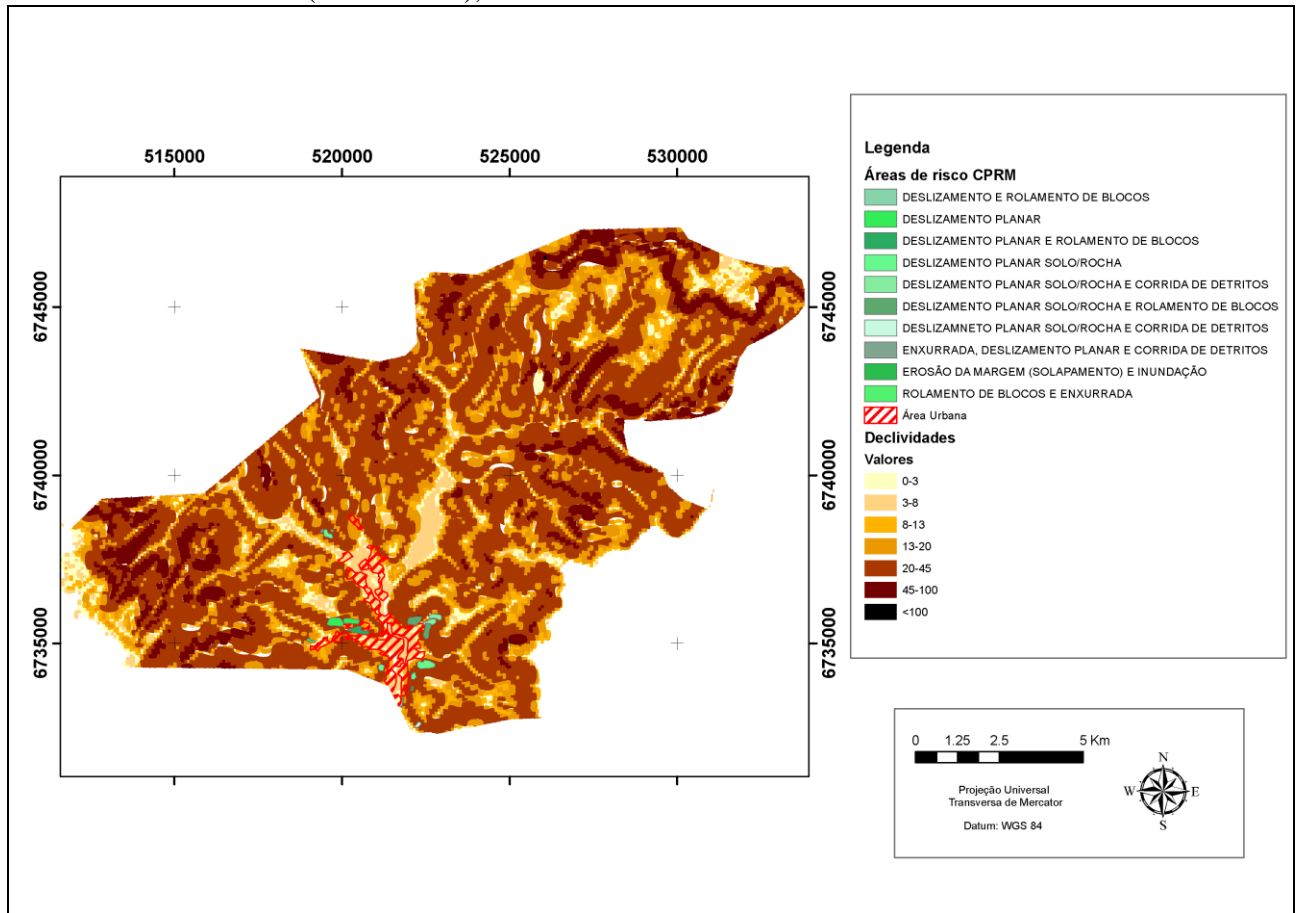


Figura 3- Mapa de declividades (%) e áreas de risco do município de Três Coroas  
Elaboração: Riffel E. S., 2016

O trabalho realizado pelo CPRM consistiu no zoneamento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes que foi executada com o apoio da Defesa Civil do município e do Corpo de Bombeiros. O IPT (2007) estabelece que o zoneamento compreende a identificação dos processos destrutivos atuantes, a avaliação do risco de ocorrência de acidentes e a delimitação e distribuição espacial de setores homogêneos em relação ao grau de probabilidade de ocorrência do processo ou mesmo ocorrência de risco, estabelecendo tantas classes quantas

#### Suscetibilidade e risco

Os termos suscetibilidade e risco não são iguais, no entanto a suscetibilidade junto com a vulnerabilidade é uma das variáveis necessárias para que exista o risco. Segundo Spink (2014) nas geociências há dois fatores a serem considerados na análise de movimentos de massa: a suscetibilidade (maior ou menor propensão de

necessárias. Permite individualizar e caracterizar cada um dos setores, fornecendo informações sobre aos diversos níveis de suscetibilidade ao qual estão submetidos.

Os trabalhos de campo consistiram na identificação da tipologia de processo, delimitação do polígono de risco e identificação do número de moradias ameaçadas. Foram identificados 24 setores relacionados a processos de inundação, enxurrada, deslizamentos planares, corrida de detritos, rolamento de blocos e erosão de margem (solapamento).

instabilidade do solo, decorrente de características geológicas e geomórficas do terreno, somado a valores de precipitação pluviométrica altos); e a vulnerabilidade (predisposição de pessoas, construções e outras materialidades a serem afetadas por ocasião de um desastre). A

vulnerabilidade está obviamente associada ao uso e ocupação do solo.

O IPT (2007) indica a potencialidade de ocorrência de processos naturais e induzidos em uma dada área, expressando-se segundo classes de probabilidade de ocorrência, relacionando suscetibilidade com processos naturais, e vulnerabilidade com induzidos. Saito (2004) define suscetibilidade como uma característica inerente do meio, representando a fragilidade do ambiente. Já Reckziegel (2012) define a avaliação da suscetibilidade como uma característica inerente ao meio, que representa a fragilidade do ambiente em relação aos movimentos de massa, e que é analisada através dos fatores de predisposição para a ocorrência.

Baseado nos itens acima pode se concluir que suscetibilidade está ligada apenas ao sistema natural, sem levar em consideração a ação antrópica, representando somente a fragilidade do ambiente, diferente do conceito de vulnerabilidade, que será tratado a seguir.

Risco por sua vez é compreendido como a relação entre a possibilidade de ocorrência de um dado processo ou fenômeno, e a magnitude de danos ou consequências sociais e/ou econômicas sobre um dado elemento, grupo ou comunidade. Quanto maior a vulnerabilidade, maior o risco. Para o JTC-1 (2008) risco é uma medida de probabilidade e severidade de um efeito adverso à saúde, propriedade ou ao meio ambiente. Assim o risco é frequentemente estimado pelo produto da probabilidade versus consequências. No entanto, uma interpretação mais geral de risco envolve

uma comparação da probabilidade das consequências não em formato de produto.

Serpa (2001) define risco como a medida de perda econômica, de danos à vida humana e/ou de impactos ambientais, resultante da combinação entre a frequência de ocorrência e a magnitude das perdas ou danos (consequências). A definição de risco para Galvão Filho & Newman (2001) consiste na possibilidade de ocorrência de um perigo. O risco está sempre associado à chance de acontecer um evento indesejado; assim, deve-se entender que o perigo é uma propriedade intrínseca de uma situação, ser ou coisa, e não pode ser controlado ou reduzido; por outro lado, o risco sempre pode ser gerenciado, atuando-se na sua frequência de ocorrência, nas consequências ou em ambas.

Segundo Farah (2003), no Brasil há uma carência absoluta de dados confiáveis no que diz respeito a cada tipo de risco. Quando se trata de risco, deve-se considerar a suscetibilidade à ocorrência de fenômenos e a vulnerabilidade (fragilidade social - densidade demográfica, infraestrutura, conhecimento e percepção do risco, situação econômica, etc.) do sistema que está sob análise.

### **Resultados e discussão**

Segundo a CPRM (2012) o município de Três Coroas está situado em uma região com características geológicas e geomorfológicas que configuram ambientes com grande suscetibilidade a processos geológicos do tipo movimentos de massa e inundações (figura 4).





Figura 4 - Área de deslizamento em substrato rochoso, divisa dos municípios de Igrejinha e Três Coroas - RS.

Fonte: Trabalho de campo

O município ocupa uma área que secciona transversalmente o vale do rio Paranhana, englobando tanto as suas cabeceiras e de seus afluentes, os Arroios Quilombo, Moreira e Lavrado, como as suas planícies de inundação. O contexto geológico é constituído por arenitos da Formação Botucatu nos topos, e nas porções inferiores a médias das encostas recobertas por rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, Lemos (2014), Martins (2013). O contato entre os dois tipos de rochas é, em geral, encoberto por depósitos de tálus, constituído por blocos de rocha imersos em matriz argilosa. Nas planícies do Rio Paranhana e de seus tributários ocorrem depósitos aluvionares.

Em todas as áreas de deslizamento a ocupação humana é significativa, ocorrem cortes no terreno em áreas de alta declividade retirando a sustentação do solo, aliado ao solo pouco espesso sobre um substrato rochoso, nessas áreas normalmente se desloca material sob grande velocidade, quando da ocorrência de episódios de eventos pluviométricos extremos, nessas datas de eventos, a estação automática de Canela-RS indicou aproximadamente 103 mm de

No município de Três Coroas foram registradas 09 ocorrências de deslizamentos, com as seguintes características: 06 ocorrências de deslizamento planar. Essas ocorrências se caracterizam por rampas de comprimentos maiores do que suas larguras, e 03 ocorrências de corridas de detritos. As corridas de detritos se caracterizam por uma linha de drenagem bem definida, com alto poder de transporte de materiais, no caso da Vila Shell foram 2 deslizamentos planares que evoluíram para corrida de detritos, Bressani (2013).

Segundo o Corpo de Bombeiros voluntários de Três Coroas, esses deslizamentos ocorreram em janeiro e setembro de 2010. precipitação segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia.

A partir da análise dos mapas de declividade e de tipos de modelados geomorfológicos, foi possível identificar padrões nas ocorrências de movimentos de massa. Diversos autores citam que a variável declividade é um fator preponderante em áreas de deslizamentos e áreas suscetíveis a movimentos de massa, entre eles Nunes (2008) Coelho Netto,



(2011), Gramani (2013), Riffel e Guasselli (2013). No caso de Três Coroas, praticamente toda área possui declividade alta, caracterizada pelas condições do terreno, onde ocorre a suscetibilidade a movimentos de massa, enquanto que nas áreas planas próximas aos cursos de água, grande parte são suscetíveis a inundações.

Os modelados geomorfológicos também possuem relação com os padrões de ocorrência para as classes de morros e colinas com topos convexos, principalmente onde existe uma mudança da condição geomorfológica, Riffel (2012). Entretanto, essa relação contribui em menor escala, se comparado com a declividade e as unidades geomorfológicas, Figura 5.

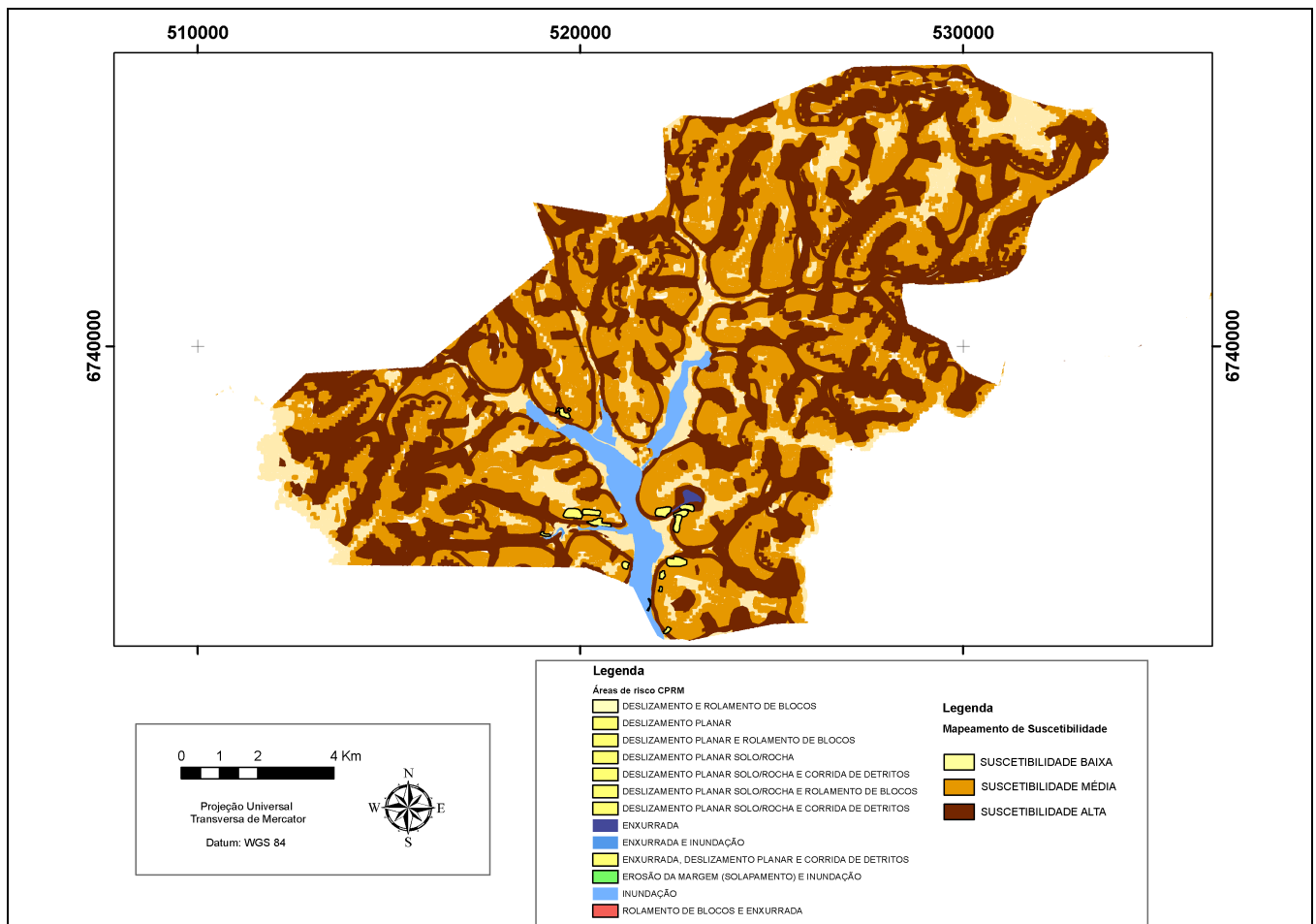


Figura 5- Suscetibilidade a movimentos de massa no município de Três Coroas - RS  
Elaboração: Riffel, E.S., 2016

Constata-se também a partir dos tipos de modelados geomorfológicos, que as ocorrências obedecem a um padrão. Aquelas que possuem baixa intervenção antrópica ocorreram em vertentes côncavas, mais suscetíveis ao acúmulo de água por serem convergentes. Embora existam poucos registros de deslizamentos fora da área urbana, por não causarem perdas socioeconômicas, as características do relevo tornam a área suscetível à ocorrência de uma grande quantidade de deslizamentos. E aquelas que possuem maior intervenção antrópica

ocorreram, na sua maioria, em vertentes divergentes e convexas. Essa relação também foi observada em campo, sendo que a maior parte das áreas ocupadas e com alta declividade se localizam em vertentes convexas e/ou planas.

O mapeamento realizado pelo CPRM indicou 24 setores de risco e alto risco a movimentos de massa e enchentes em Três Coroas, conforme Figura 4. Destes setores 13 são suscetíveis principalmente a deslizamentos. Se comparados os dados do CPRM com os identificados no mapa de suscetibilidade, percebe-

se que a maioria se sobrepõe, principalmente, onde a declividade é o fator principal para a deflagração do movimento de massa.

Nos setores onde predominam as declividades médias existe divergência entre os

setores do CPRM e do mapeamento de suscetibilidade. O fator principal é a ocupação urbana, localizada em áreas de vertente convexa, normalmente de ocupação irregular, com cortes no terreno e retirada de vegetação.

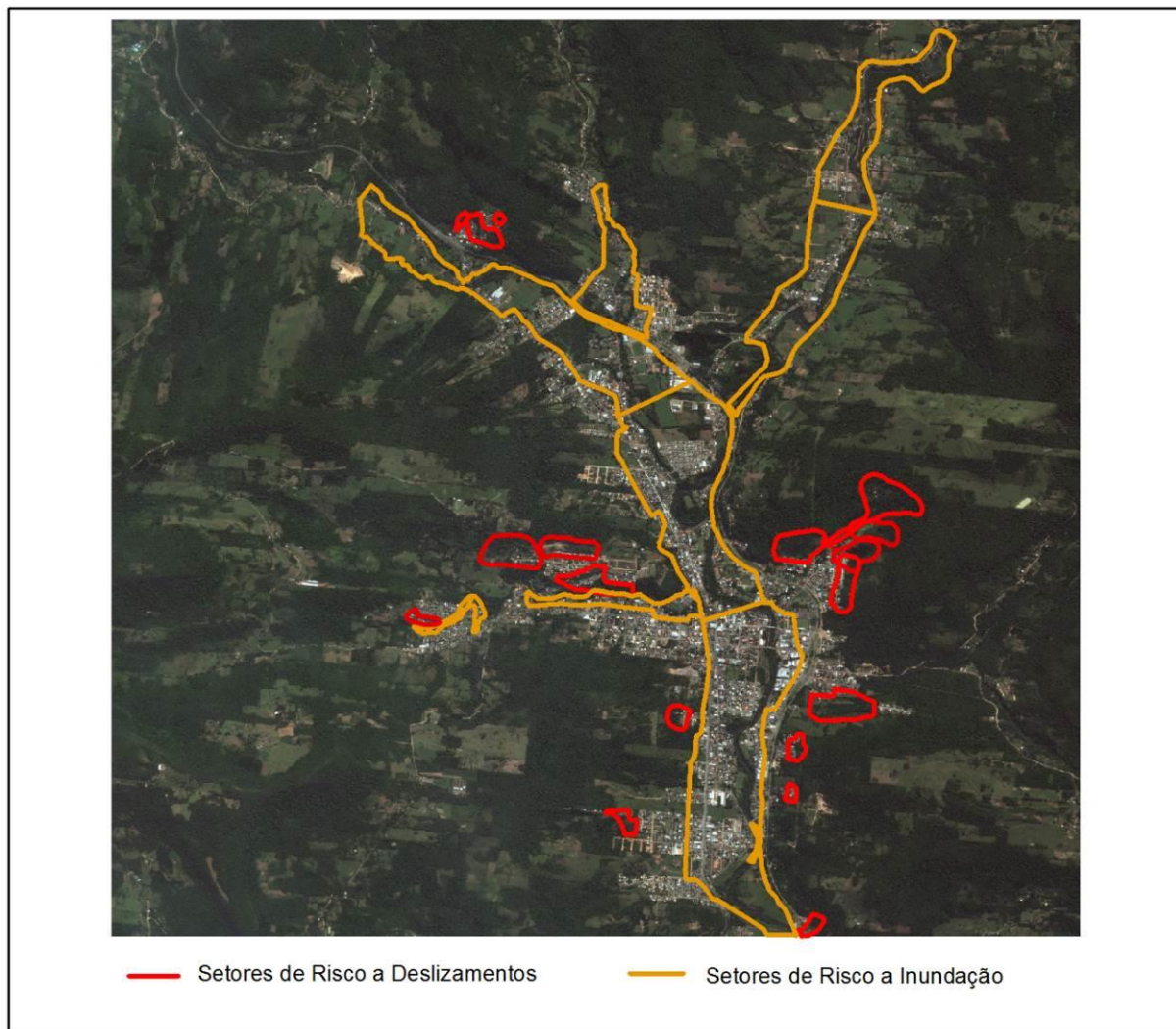


Figura 6- Setores de risco do CPRM no município de Três Coroas - RS. Fonte: CPRM, 2012

Das 15 áreas do CPRM indicadas como de risco a deslizamentos, 11 foram consideradas de muito alto risco. O mapeamento de suscetibilidade também identificou essas mesmas 11 como de alta suscetibilidade a deslizamentos. O que corresponde a 75% de acerto na indicação, se for considerado apenas a alta suscetibilidade.

Das outras 4 áreas, 3 classificadas pelo CPRM como de muito alto risco e 1 de alto risco,

foram mapeadas como de média suscetibilidade. Destas, 2 são ocorrências de deslizamento do tipo queda de blocos. Levando em consideração que o mapeamento de suscetibilidade utilizou principalmente dados geomorfológicos, os resultados se mostram satisfatórios visto que a queda de blocos possui maior relação com fatores geológicos e não com fatores geomorfológicos.

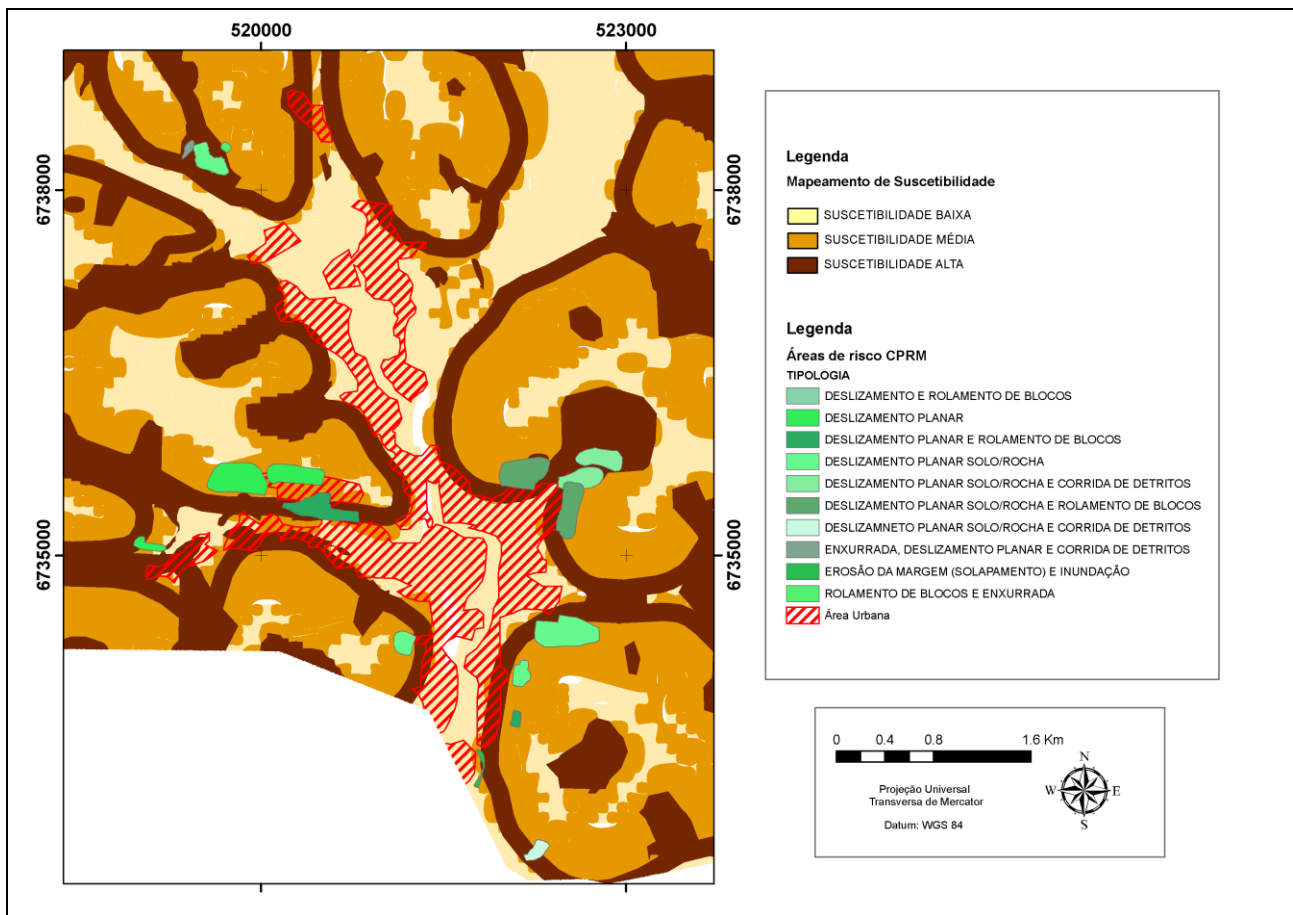
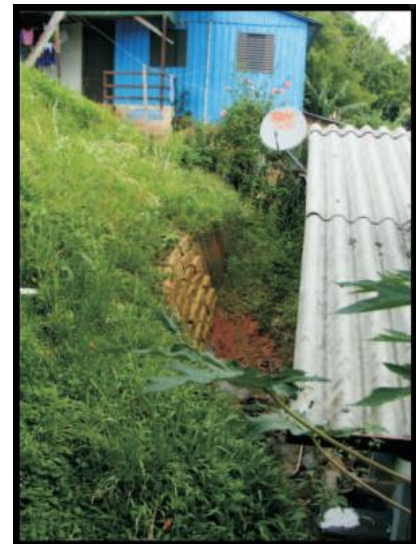


Figura 7- Mapeamento de suscetibilidade a movimentos de massa na área urbana do município de Três Coroas e zoneamento de risco elaborado pela CPRM.  
 Elaboração: Riffel, E. S., 2016.

Nesses 4 setores, o tipo de ocupação é o principal agente deflagrador do deslizamento. Já que todos eles estão localizados próximos a uma linha de escarpa que representa uma mudança abrupta do relevo, mas que possuem declividade moderada, Oliveira et al, (2012) . Percebe-se na figura 7 que a maioria das áreas de risco localizadas na área urbana de Três Coroas estão

na área de alta suscetibilidade mapeada a partir da linha de escarpa, na transição entre a ocupação urbana e o início da alta declividade. Em grande parte das áreas de zoneamento de risco a ocupação é do tipo corte e/ou aterro, CPRM (2013), com construções muito próximas (menos de 1 metro) dos cortes feitos no solo, Figuras 8 e 9.





Figuras 8 e 9- Residências em área de risco próximas a corte realizado no solo.  
Fonte: CPRM, 2012.

Nas áreas ocupadas de alto risco, localizadas principalmente nas bordas da mancha urbana, ocorre um aumento da elevação e da declividade. Essa ocupação ocorre devido a falta de áreas destinadas a expansão urbana. A população tende a ocupar as encostas devido à falta de informação por parte das autoridades referente ao risco de deslizamentos. Por outro lado, em Três Coroas as inundações são muito frequentes. Como restam poucas áreas adequadas a ocupação urbana, a população se transfere das áreas mais planas, sujeitas a inundações, para as áreas mais íngremes, sujeitas a movimentos de massa.

### Conclusão

A declividade é um dos principais fatores desestabilizadores, causadores de movimentação de massa em Três Coroas, aliado ao fator pluviométrico e geomorfológico. Ocorre uma combinação das características físicas, somadas as alterações antrópicas da encosta, que leva a movimentação. É importante salientar que a suscetibilidade por si só, não constitui um fator deflagrador dos movimentos de massa, no entanto, a área identificada como suscetível, possui todos os atributos geomorfológicos necessários para que haja a ocorrência quando somada a algum outro fator que imprima perigo, como a ocupação ou elevados índices pluviométricos.

Percebe-se também que outro grande causador das ocorrências de movimentos de massa na bacia é a ocupação das encostas, algumas vezes irregular e outras não. As encostas

estão incluídas na legislação ambiental, como áreas sob proteção ambiental e com restrição à ocupação. No entanto o que se vê é que a legislação é pouco conhecida e pouco difundida entre as prefeituras de cidades pequenas, além de que a proibição, sem alguma espécie de compensação se mostra ineficaz, e isso somado à falta de fiscalização, só torna mais fácil a ocupação dessas áreas.

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

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

A metodologia utilizada se mostrou eficaz em identificar padrões de ocorrência de movimentos de massa. No entanto em estudos futuros, outras variáveis devem ser utilizadas, tais como vegetação, solos e geologia.

É importante salientar que os conceitos de risco e suscetibilidade são diferentes, no entanto, a

suscetibilidade é uma das variáveis necessárias para que haja o risco. Comparativamente a metodologia se mostrou eficaz, visto que classificou os setores de risco a deslizamentos identificados pelo CPRM como sendo de alta suscetibilidade a deslizamentos.

#### Agradecimentos

Prefeitura Municipal de Três Coroas, Defesa Civil de Três Coroas, Bombeiros Voluntários de Três Coroas. À CPRM, Carlos Augusto Peixoto, José Leonardo Andriotti, Ana Claudia Viero, Simone Zwirtes.

#### Referências

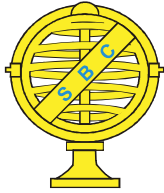
- Braga, T. M; Oliveira, E. L., Givisiez G. H. N., 2006. Avaliação de metodologias de mensuração de risco e vulnerabilidade social a desastres naturais associados à mudança climática. Disponível em: <[http://www.abep.nepo.unicamp.br/encontro2006/docspdf/abep2006\\_204.pdf](http://www.abep.nepo.unicamp.br/encontro2006/docspdf/abep2006_204.pdf)> Acesso em: 13 jul. 2015.
- BRASIL, 1979. Lei Federal Nº. 6.766. de 19 de Dezembro de 1979.
- \_\_\_\_\_. Ministério da Integração Nacional., 2003. Manual de Desastres. Vol. I. Brasília.
- Bressani, L. A., 2013. Geotecnia aplicada à prevenção de desastres. In: Guasselli, L. A. Oliveira, G. G, Alves, R. C. M. (Org.). Eventos extremos no Rio Grande do Sul: inundações e movimentos de massa. 1 ed. Editora Evangraf, Porto Alegre – RS. 163-178.
- Bispo, P.C.; Almeida, C.M.; Valeriano, M.M.; Medeiros, J.S. Crepani E., 2009. Avaliação da suscetibilidade aos movimentos de massa na região de São Sebastião-SP com o uso de técnicas de geoprocessamento. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.16.07.45/doc/3583-3590.pdf>>. Acesso em: 25 out. 2015.
- Coelho Netto, A., Sato, A., Avelar, A., Vianna, L., Araújo, I., Ferreira, D., Lima, P., Silva, A., Silva, R., 2011. January 2011: the extreme landslide disaster in Brazil. Proceedings of the Second World Landslide Forum – 3-7 October 2011, Rome.
- CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 2012. Ação Emergencial para Reconhecimento de Áreas de Alto e Muito Alto Risco a Movimentos de Massa e Enchentes. Porto Alegre/RS.
- DEFESA CIVIL RS., 2014. Consulta a dados de ocorrências de desastres naturais no estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre – RS. Disponível em <[http://www.defesacivil.rs.gov.br/consulta\\_convenios.html](http://www.defesacivil.rs.gov.br/consulta_convenios.html)> Acesso em: 21 ago. 2014.
- Eckhardt, R. R.; Fava E Silva, J.; Linn, R. M., 2011. Uso das geotecnologias para a elaboração e atualização de informações ambientais e territoriais municipais – estudo de caso para o Município de Três Coroas - RS - Brasil. Disponível em: <<http://urlib.net/3ERPFQRTRW/3A36AJL>>. Acesso em: 24 ago. 2015.
- Farah, F., 2003. Ocupação urbana e instabilidade de encostas. Coleção Habitare – habitação e encostas. IPT, São Paulo.
- Galvão Filho, J.B., Newman, D., 2001. Gestão e gerenciamento de risco ambiental I. Banas Ambiental 2. 01-18.
- Gramani, M. F. A., 2013. Corrida de detritos (debris flow) no Ribeirão Cágado, Serra do Mar, Município de Cubatão, SP. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA DE ENCOSTAS, 6., Angra dos Reis. Anais. Angra dos Reis, impresso, 125-158.
- IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2007. Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios. Brasília.
- Kobiyama M.; Mendonça M.; Moreno D. A.; Marcelino I. P. V. O.; Marcelino E. V.; Gonçalves E. F.; Brazetti L. L. P.; Goerl R. F.; Moller G. S. F.; Rudorff F. M., 2006. Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos. Ed. Organic Trading, Curitiba. ISBN – 85-87755-03-X.
- Lemos, A. C., 2014. Análise Geológica-Geomorfológica da Bacia Hidrográfica do Rio Paranhana - RS para o reconhecimento de ambientes vulneráveis. Dissertação (Mestrado em Geografia). Porto Alegre – RS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Martins, P. A., 2014. Mapeamento das áreas suscetíveis a deslizamentos no perímetro urbano de Igrejinha - RS. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Porto Alegre – RS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Nunes, A. L. L. S., 2008. Estabilidades de Taludes Rochosos em Estradas, In: Anais 6º Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica da Região Sul, Geosul, ABMS, Florianópolis, Santa Catarina, pp. 1-11.
- Oliveira, G.G. ; Guasselli, L.A. ; Saldanha, Dejanira Luderitz., 2013. Espacialização das

- áreas inundáveis em Montenegro, RS. In: Laurindo Antonio Guasselli; Guilherme Garcia de Oliveira; Rita de Cássia Marques Alves. (Org.). *Eventos Extremos no Rio Grande Do Sul: Inundações e Movimentos de Massa*. 1 ed. Editora Evangraf, Porto Alegre. pp. 59-96.
- Oliveira, G.G.; Valente, P.T.; Guasselli, L.A., 2012. Espacialização das áreas de inundação nos municípios de Igrejinha e Três Coroas, bacia hidrográfica do rio Paranhana/RS. In: *Simpósio Nacional de Geomorfologia (SINAGEO), Anais...* Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- PROSINOS, Consórcio Público de Saneamento Básico da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos, 2010. *Caracterização Socioambiental da região da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos*. Disponível em: <[http://www.portalprosinos.com.br/altas/contento\\_saofrancisco.php?id=geociencias\\_saofrancisco](http://www.portalprosinos.com.br/altas/contento_saofrancisco.php?id=geociencias_saofrancisco)> Acesso em: 24 out. 2015.
- Reckziegel, E. W., 2012. Identificação e mapeamento das áreas com perigo de movimento de massa no município de Porto Alegre, RS. *Dissertação (Mestrado em Geografia) Porto Alegre – RS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul*.
- Riffel, E.S., 2012. Análise e mapeamento das ocorrências de movimentos de massa na bacia hidrográfica do Rio Paranhana (RS). *Dissertação (Mestrado em Geografia)*. Porto Alegre – RS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Riffel, E. S. E Guasselli, L. A., 2013. Mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos de massa na bacia hidrográfica do Rio Paranhana-RS. In: Guasselli, L. A. Oliveira, G. G, Alves, R. C. M. (Org.). *Eventos extremos no Rio Grande do Sul: inundações e movimentos de massa*. Editora Evangraf, Porto Alegre - RS, pp.121-140.
- Saito, S., 2004. *Estudo analítico da suscetibilidade a escorregamentos e quedas de blocos no maciço central de Florianópolis - SC*. *Dissertação (Mestrado em Geografia)*. Florianópolis-SC, Universidade Federal de Santa Catarina.
- Scheuren, J.M.; Polain De Waroux, O.; Below, R.; Guha-Sapir, D.; Ponserre, S., 2007. *Annual Disaster Statistical*. In: *Review The Numbers and Trends*, 200p.
- Serpa, R. R., 2001. As metodologias de análises de risco e seu papel no licenciamento de indústrias e atividades perigosas. In: Freitas, C.M. Souza, M.F. Machado, J.M. (org) *Acidentes industriais ampliados: desafios e perspectivas para o controle e a prevenção*. Editora FIOCRUZ. Rio de Janeiro, pp. 253-266.
- Spink, M. J., 2014. *Produção de sentidos no cotidiano: uma abordagem teórico-metodológica para análise das práticas discursivas*. In: Spink. (Org.). *Práticas discursivas e produção de sentidos no cotidiano: aproximações teóricas e metodológicas*. Centro Edelstein de Pesquisas Sociais (Edição virtual), Rio de Janeiro.
- Tobin, G. A; Montz, B. E., 1997. *Natural Hazards: explanation and investigation*. The Guilford Press, New York.
- UNDP – United Nations Development Programme, 2004. *Reducing disaster risk: a challenge for development*. UNDP, New York, USA.
- Vanacôr, R. N., 2006. *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 (Mestrado em Sensoriamento Remoto)*. Porto Alegre – RS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

**Artigo 3:**

O terceiro artigo intitulado: “Mapeamento de Suscetibilidade a Deslizamentos a partir de Mineração de Dados e do Modelo *Shalstab*” foi publicado na Revista Brasileira de Cartografia, classificada atualmente com o Qualis B1 na área da Geografia.

Nesse artigo foi realizada uma comparação entre dois métodos de mapeamento de suscetibilidade, o modelo *Shalstab* e a Árvore de Decisão, aplicados na bacia do arroio Forromeco, na bacia hidrográfica do rio Caí - RS.



## MAPEAMENTO DE SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS A PARTIR DE MINERAÇÃO DE DADOS E DO MODELO SHALSTAB

*Mapping of Susceptibility the Landslides from Data Mining and Shalstab Model*

**Eduardo Samuel Riffel<sup>1</sup>, Luis Fernando Chimelo Ruiz<sup>2</sup>  
& Laurindo Antonio Guasselli<sup>1,2</sup>**

**<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS  
Programa de Pós-Graduação em Geografia**

Avenida Bento Gonçalves, 9500, Agronomia, 91540-000, Porto Alegre, RS, Brasil  
edriffel@gmail.com, laurindo.guasselli@ufrgs.com.br

**<sup>2</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS  
Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto**

Avenida Bento Gonçalves, 9500, Agronomia, 91540-000, Porto Alegre, RS, Brasil  
ruiz.ch@gmail.com

*Recebido em 26 de Julho, 2016/ Aceito em 28 de Outubro, 2016  
Received on July 26, 2016/ Accepted on October 28, 2016*

### RESUMO

Diversos modelos têm sido utilizados para mapear, modelar, quantificar e identificar áreas suscetíveis a deslizamentos. Os mapeamentos de suscetibilidade surgem como uma alternativa à cultura forense existente no Brasil em relação aos movimentos de massa, pois consistem em uma previsão de áreas onde é necessária maior atenção em relação à possibilidade de ocorrência de desastres. Assim, o objetivo do presente estudo foi realizar o mapeamento de suscetibilidade a movimentos de massa na bacia hidrográfica do rio Forromeco-RS. Para isso empregou-se duas metodologias, o modelo Shalstab e o modelo Árvore de Decisão, que posteriormente foram comparadas. Para implementar os modelos foram utilizadas 47 amostras de deslizamentos, identificadas a partir de cicatrizes de escorregamentos na região da bacia, mapeados por meio de imagens de satélite de alta resolução espacial. Como dado de entrada dos modelos foram utilizados parâmetros morfométricos, extraídos de imagem SRTM. A comparação dos resultados das duas metodologias e a análise da acurácia dos modelos, baseado no índice kappa, mostrou que o modelo Árvore de Decisão apresentou uma acurácia de 0,98, enquanto para o modelo Shalstab foi de 0,82. Ressalta-se que a diferença entre os resultados dos modelos é pouco significativa. Ambos podem representar de forma satisfatória o objetivo final de geração de mapa de suscetibilidade. No entanto, o modelo Shalstab apresenta mais limitações, devido à necessidade de dados de grande resolução, para uma boa resposta da análise.

**Palavras chave:** Deslizamentos, Shalstab, Árvore de Decisão.

### ABSTRACT

Several models have been used to map, model, quantify and identify susceptible areas to landslides. The susceptibility mappings arose as an alternative to the forensic culture existing in Brazil in relation to mass movements because consist in a forecast of areas where it is needed most attention on the possibility the occurrence of disaster. So, the objective of this article was to accomplish the susceptibility mapping the mass movements in the basin of Forromeco river - RS. For this, two methodologies were used, the Shalstab model and the Decision Tree model, which posteriorly were



compared. To implement the model were used 47 samples of landslides, identified from landslide scars in the region of the basin, mapped by high spatial resolution satellite images. As input data of the models were used morphometric parameters extracted from the SRTM image. The comparison the results of the two methodologies and analysis of the accuracy of the models, based on the kappa index, showed that the Decision Tree model presented an accuracy of 0.98, while for the Shalstab model was 0.82. It is noteworthy that the difference between the results of the models is small. Satisfactorily, both can represent the ultimate goal of generation the susceptibility map. However, the Shalstab model has others limitations due to the need of high resolution data, for a good answer the analysis.

**Keywords:** Landslides, Shalstab, Decision Tree Model.

## 1. INTRODUÇÃO

Os desastres constituem hoje um dos principais problemas socioeconômicos mundiais. Entre os fenômenos de maior ocorrência estão os deslizamentos, inundações e os terremotos (MAFFRA & MAZOLLA, 2007; TOMINAGA, 2009; RIFFEL, 2012; LICCO, 2013). Durante o século XX, ocorreram modificações importantes no ambiente natural em decorrência do desenvolvimento econômico e do acelerado processo de urbanização verificado nas últimas décadas (TOMINAGA *et al.*, 2012).

Segundo o EM-DAT (2016), no período de 1991 a 2015, foram registrados no mundo 7.602 desastres, totalizando 1.620.093 óbitos e 4.496.909.737 pessoas afetadas. A análise dos dados para os anos de 2000 e 2010, mostra um aumento na frequência de ocorrência dos desastres, registrando 526 e 533 desastres, respectivamente.

No caso do Brasil, o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais indica um aumento expressivo no número de ocorrências de desastres, no período 1991-2010, totalizando 8.671 ocorrências na década de 1990, e 23.238 na década de 2000. Nesse sentido, o Centro de Estudos e Pesquisas sobre Desastres (CEPED) alerta sobre os cuidados necessários ao afirmar que os desastres aumentaram em 73% nos últimos 10 anos (CEPED, 2012).

Os desastres naturais que ocorrem no Brasil são, na sua maioria, de origem atmosférica. A precipitação, seja em excesso ou em escassez, é o elemento atmosférico que mais contribui para a ocorrência de desastres na região Sul do Brasil (inundações e secas), (MARCELINO *et al.*, 2006; BARBIERI *et al.*, 2009).

Os movimentos de massa estão entre os principais tipos de desastres que ocorrem no Brasil atualmente, juntamente com as inundações

(PARIZI *et al.*, 2010; TOMINAGA *et al.*, 2012; RECKZIEGEL, 2012). As corridas de detritos ou de massa, deslizamentos planares e quedas de blocos são os mais frequentes no sul do Brasil (ZUQUETTE, 2005; TOMINAGA, 2012).

Os mapeamentos de suscetibilidade surgem como uma alternativa à cultura forense existente no Brasil em relação aos movimentos de massa, pois consistem em uma previsão de áreas onde é necessária maior atenção em relação à possibilidade de ocorrência de desastres (RIFFEL, 2012).

Vários modelos têm sido utilizados para mapear, modelar, quantificar e identificar áreas suscetíveis a movimentos de massa, como, os modelos de mineração de dados (RODRIGUES, 2002; CARDOSO, 2005; MARTINI *et al.*, 2006; SILVEIRA *et al.*, 2014) e o Shalstab (FERNANDES *et al.*, 2001; OLIVEIRA, 2009; PECHINCHA & ZAIDAN, 2013; SANTOS, 2015).

Mineração de Dados (MD) pode ser entendido como um processo de busca e descoberta de informações em grande volume de dados (WITTEN *et al.*, 2011). Dentre os modelos de MD avaliados no mapeamento da suscetibilidade a deslizamentos estão, Redes Bayesianas (SONG *et al.*, 2009), Redes Neurais Artificiais (FALASCHI *et al.*, 2009), Máquina de Vetores Suporte (BALLABIO & STERLACCHINI, 2012) e Árvore de Decisão (BUI *et al.*, 2012). Comparando os modelos de MD, a Árvore de Decisão (AD) possibilita a interpretação dos modelos resultantes, como também, demanda menos tempo na sua construção. E ainda, alcançam resultados semelhantes ou até superiores aos demais (TSAI *et al.*, 2013).

O modelo Shalstab consiste na abreviação de Shallow Landslide Stability Analysis (análise de estabilidade de deslizamentos rasos). É

um modelo determinístico que leva em conta a combinação de outros dois modelos: um hidrológico de estado uniforme e outro de estabilidade de encosta infinita (DIETRICH & MONTGOMERY, 1998).

Devido a recorrência de eventos adversos na bacia, este artigo tem por objetivo mapear a suscetibilidade a deslizamentos, e comparar o resultado da aplicação de duas metodologias, o Shalstab e a Árvore de Decisão, para identificar e analisar os padrões de mapeamento.

### 1.1 Área de estudo

A bacia hidrográfica do arroio Forromeco está inserida na bacia do rio Caí. Possui recorrência de processos associados a enxurradas e movimentos de massa. Situa-se a nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas geográficas 29°10' a 29°30' de latitude Sul e 51°00' a 51°30' de longitude Oeste (Figura 1). Possui superfície de 290,70 km<sup>2</sup> e população estimada em 96.000 habitantes

(IBGE, 2014), abrangendo municípios como Bom Princípio, São Vendelino, Carlos Barbosa e Farroupilha.

A exploração agrícola intensa, o desmatamento das encostas declivosas e a poluição hídrica no curso médio e inferior são os maiores problemas enfrentados nesta bacia (SEMA, 2010).

De acordo com a classificação climática de Rossato (2011) a bacia do arroio Forromeco encontra-se no tipo climático denominado Subtropical III, caracterizado por um clima úmido com variação longitudinal das temperaturas médias. Possui uma menor influência dos sistemas polares e maior interferência dos sistemas tropicais conjugados com o efeito do relevo (escarpa e vales da borda do Planalto Basáltico), da continentalidade, da maritimidade e das áreas urbanizadas. Os sistemas frontais são responsáveis pela maior parte das precipitações. Chove entre 1700-1800 mm ao ano, em 100-120 dias de chuva.

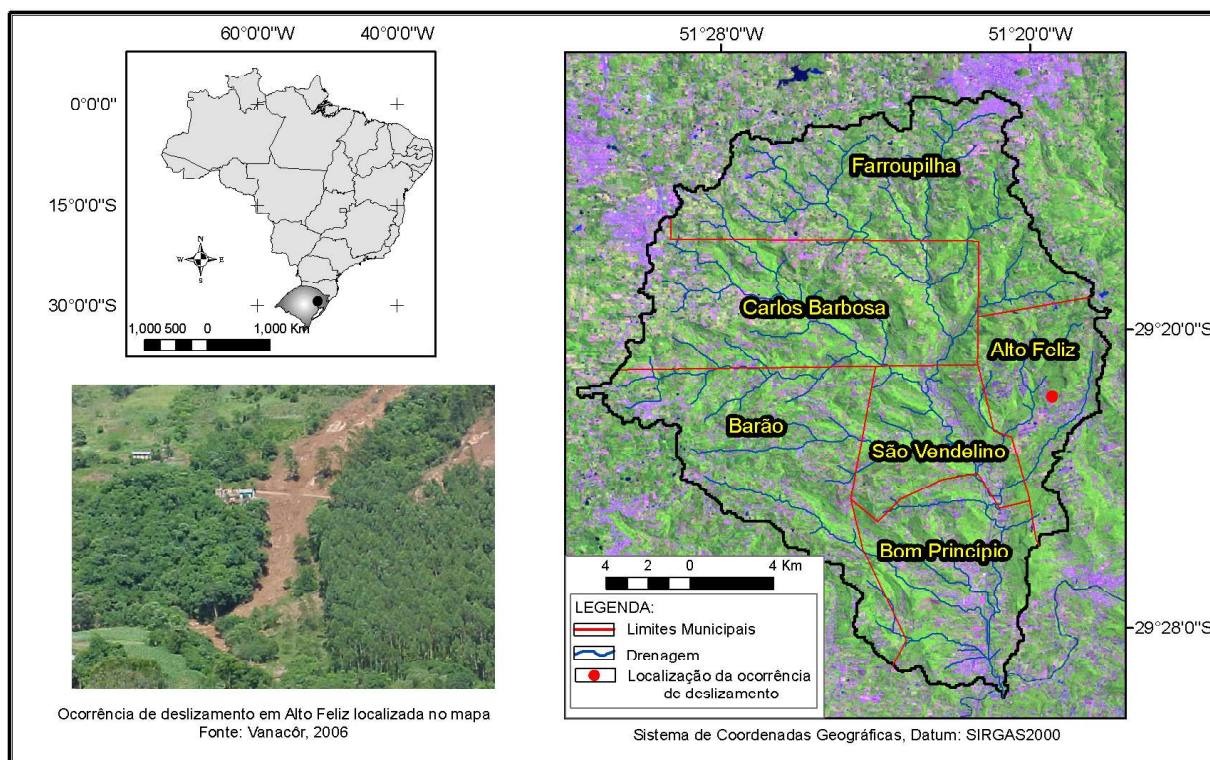


Fig. 1 - Localização da área de estudo.

Segundo Oliveira *et al.* (2010), a bacia do arroio Forromeco possui amplitude altimétrica de aproximadamente 750 metros sendo composta por vales bem encaixados com encostas de elevada declividade. Abrange as Unidades Geomorfológicas Planalto dos Campos Gerais,

Serra Geral, Patamares da Serra Geral e Planícies Alúvio Coluvionares. A bacia hidrográfica do arroio Forromeco - RS é frequentemente atingida por diversos tipos de desastres (OLIVEIRA, 2010; SCHENKEL, 2014). O principal registro de inundação da cidade remete ao ano de 1982,

quando parte da área urbana foi invadida e destruída pelas águas do arroio Forromeco. E, em 2000 foi registrada a ocorrência de um grande fluxo de detritos, formado com o material oriundo de escorregamentos de terra, próximo a uma das cabeceiras da bacia, fazendo algumas vítimas fatais (REIS *et al.*, 2014). Segundo Silveira (2008) no evento da corrida de detritos de 2000, o posto pluviométrico, junto a cidade de São Vendelino, indicou uma precipitação de 148 mm, em um período de duas horas, entre as 17 e 19 horas. Ao todo foram contabilizados 47 escorregamentos importantes de taludes, entre os quais 10 corridas de detritos. Seis rodovias vicinais foram interrompidas e a principal rodovia que liga a região de Caxias do Sul à região metropolitana de Porto Alegre foi interrompida completamente em 10 pontos.

Conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2014), a litologia da região inclui a Formação Botucatu, com presença de arenito; a Fácies Gramado caracterizada por derrames basálticos; e a Fácies Caxias caracterizada por derrames de composição intermediária a ácida. Os solos que compõem a bacia são: Chernossolos, Neossolos Litólicos Eutróficos, Nitossolos e Luvisolos.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

As etapas metodológicas que possibilitaram a realização do presente estudo estão apresentadas na Figura 2, seguidas de uma breve descrição das principais etapas:

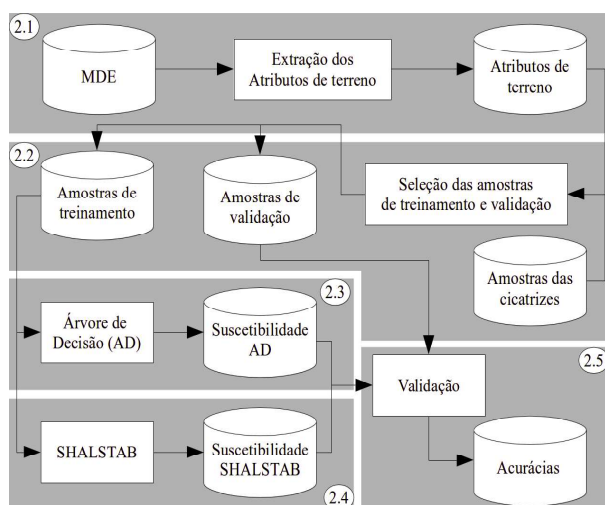


Fig. 2 - Fluxograma com etapas metodológicas.

### 2.1 Extração dos atributos de terreno

O Modelo Digital de Elevação (MDE) foi elaborado a partir de imagens do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), com resolução espacial de 30 metros, adquiridas no repositório do Serviço Geológico dos Estados Unidos (United States Geological Survey - USGS). Extraíram-se os seguintes atributos de terreno: a elevação da superfície (ELEV), a orientação das vertentes (OV), a declividade (DECL), a classificação das formas do terreno (GEOFORMAS), no qual é originado da curvatura de vertical e da horizontal. O Fator Topográfico (LS), o índice de umidade topográfica (IUT), a distância vertical da rede de drenagem (DVR) e a profundidade do vale (PV) (CONRAD, 2015). A extração dos atributos preditivos foi executada no programa SAGA-GIS.

### 2.2 Seleção das amostras de treinamento e validação

As áreas suscetíveis à ocorrência de movimento de massa foram determinadas, por meio de um inventário, elaborado a partir de interpretação de imagens de satélite de alta resolução. Já as áreas improváveis a ocorrência foram obtidas por interpretação dos atributos do terreno, selecionando locais planos e/ou próximos as redes de drenagens. Dos 2.836 pixels amostrados, 70% foram selecionados aleatoriamente como amostras de treinamento e o restante (30%), compôs as amostras de validação. A Figura 3 apresenta as amostras de treinamento distribuídas nos atributos LS e declividade, as amostras da classe de não ocorrência estão distribuídas na região central do atributo de terreno LS (Figura 3a). As amostras da classe ocorrência estão concentradas na região leste do atributo declividade (Figura 3b).

### 2.3 Mineração de dados

Modelos de AD conseguem identificar relações entre a variável dependente e as múltiplas variáveis independentes por meio de um particionamento recursivo binário, em que os dados são divididos em grupos cada vez mais homogêneos, utilizando para isso combinações das variáveis que melhor explicam a variação da variável dependente (QUINLAN, 1996).



## 2.1 Extração dos atributos de terreno

O Modelo Digital de Elevação (MDE) foi elaborado a partir de imagens do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), com resolução espacial de 30 metros, adquiridas no repositório do Serviço Geológico dos Estados Unidos (*United States Geological Survey* - USGS). Extraíram-se os seguintes atributos de terreno: a elevação da superfície (ELEV), a orientação das vertentes (OV), a declividade (DECL), a classificação das formas do terreno (GEOFORMAS), no qual é originado da curvatura de vertical e da horizontal. O Fator Topográfico (LS), o índice de umidade topográfica (IUT), a distância vertical da rede de drenagem (DVR) e a profundidade do vale (PV) (CONRAD, 2015). A extração dos atributos preditivos foi executada no programa *SAGA-GIS*.

## 2.2 Seleção das amostras de treinamento e validação

As áreas suscetíveis à ocorrência de movimento de massa foram determinadas, por meio de um inventário, elaborado a partir de interpretação de imagens de satélite de alta resolução. Já as áreas improváveis a ocorrência foram obtidas por interpretação dos atributos do terreno, selecionando locais planos e/ou próximos as redes de drenagens. Dos 2.836 pixels amostrados, 70% foram selecionados aleatoriamente como amostras de treinamento e o restante (30%), compôs as amostras de validação. A Figura 3 apresenta as amostras de treinamento distribuídas nos atributos LS e declividade, as amostras da classe de não ocorrência estão distribuídas na região central do atributo de terreno LS (Figura 3a). As amostras da classe ocorrência estão concentradas na região leste do atributo declividade (Figura 3b).

## 2.3 Mineração de dados

Modelos de AD conseguem identificar relações entre a variável dependente e as múltiplas variáveis independentes por meio de um particionamento recursivo binário, em que os dados são divididos em grupos cada vez mais homogêneos, utilizando para isso combinações das variáveis que melhor explicam a variação da variável dependente (QUINLAN, 1996).

O número de partições, ou seja, a profundidade da árvore é um parâmetro ajustável do modelo, quanto maior esse valor, maior e mais complexa a árvore resultante. Modelos por AD complexos decoram os dados de entrada e são menos generalistas (QIAN *et al.*, 2015). AD também podem ser utilizados na redução da dimensionalidade dos dados e na seleção de atributos mais informativos, calculando a importância do atributo para o modelo. A importância dos atributos é obtida quantificando a redução da impureza dos subconjuntos de amostras selecionados em cada nó da árvore e somando essa redução para cada atributo utilizado no nó.

Foram utilizados os modelos Classificação e Regressão por Árvore (*Classification And Regression Tree* – CART) (BREIMAN *et al.*, 1984) e o *Random Forest* (BREIMAN, 2001). Com intuito de selecionar o melhor valor de profundidade da árvore, foram avaliados os valores, 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 e 50 para ambos os modelos. O método *Random Forest* é um classificador do tipo comitê ou “*ensemble*”, constituído de várias AD. Cada uma dessas árvores dá um voto que indica sua decisão sobre a classe à qual pertencerá uma determinada amostra. A amostra pertencerá à classe com o maior número de votos.

O número de árvores é um parâmetro ajustável, neste estudo foram avaliados os seguintes valores, 2, 5, 10, 15, 20, 25 e 30. Para tanto foram desenvolvidas rotinas de programação na linguagem Python, e os métodos de classificação, CART e *Random Forest*, foram acessados por meio da biblioteca de programação *SciKit - Learn*.

## 2.4 SHALSTAB

Esse modelo foi rodado em *Arcview*, inicialmente com dados de elevação obtidos a partir do DEM. O *Shalstab* é organizado em 3 módulos, inicialmente no primeiro módulo são gerados mapas morfométricos como: declividades, área de contribuição e fluxos. Para a entrada do modelo utilizou-se valores estabelecidos por Silveira (2008) como: coesão de 7,2 kPa, ângulo de atrito interno de 31,6°, peso específico úmido 15.7 kN/m<sup>3</sup>, profundidade do solo 2 metros.

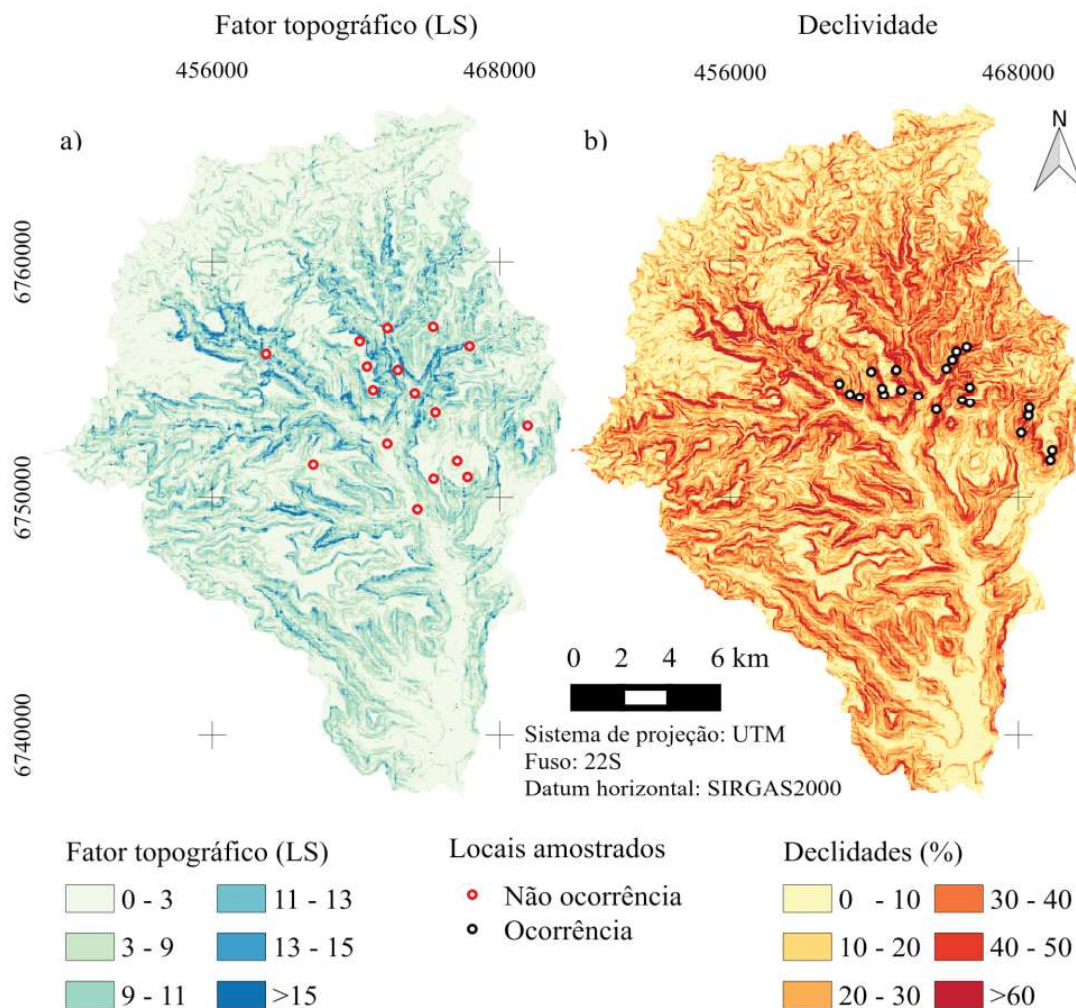


Fig. 3 - Amostras de treinamento distribuídas por: a) Fator topográfico (LS); e b) declividade.

O modelo original gera um mapa de suscetibilidade em 7 classes, sendo duas extremas, uma cronicamente instável e outra incondicionalmente estável (Quadro 1). Foram adicionadas amostras de escorregamentos, para identificar em quais classes é maior a sua ocorrência.

Como os valores são muito baixos, o modelo apresenta as classes em logaritmos de Q/T que variam de  $<-3,1$  a  $>-2,2$ , essas classes são padronizadas, baseados em valores usualmente encontrados em deslizamentos planares. A última etapa consiste na classificação das classes com Alta e Baixa ocorrência de escorregamentos, a fim de gerar o mapa de suscetibilidade e permitindo a comparação entre os resultados obtidos por MD e *Shalstab*. Para realizar a classificação em duas classes, foram avaliados os seguintes limiares: -2; -1,5; -1; -0,5; 0; 0,5; 1; 1,5 e 2.

## 2.5 Validação

Os mapas de suscetibilidades gerados pelos modelos foram elaborados com duas classes: alta suscetibilidade e baixa suscetibilidade, o que permitiu comparar os resultados obtidos. Foram calculados o índice *Kappa* e sua variância, e a Acurácia do Produtor (AP) para cada modelo. Esses cálculos foram determinados por meio da biblioteca de programação *StatsModels*, essa biblioteca permite explorar dados, estimar modelos estatísticos e executar testes estatísticos.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados 3 itens contendo resultados e discussões, sendo o primeiro com resultados de modelos baseados em árvores de decisão, o segundo com resultados de modelos do *Shalstab* e no terceiro item será feita uma comparação dos dois modelos.

### 3.1 Modelos Baseados em Árvores de Decisão

O modelo *Random Forest* resultou em um valor de *Kappa* próximo a 0,98, para número de árvores igual a 5 e 15. Quanto menor esse valor, menor será o tempo da classificação, devido a isso, foi selecionado o número de árvores igual a 5, como o mais adequado neste trabalho. A Figura 4 ilustra o desempenho das classificações em relação aos valores de profundidades das árvores, o maior *Kappa* para o *Random Forest*, foi obtido para o número de árvores igual a 5. Observa-se na Figura 4, que o modelo *Random Forest* foi superior ao CART em todos os casos, isso ocorre devido ao modelo considerar várias árvores na classificação. Ao avaliar o comportamento do *Random Forest* em relação

aos valores de profundidade, pode-se identificar um declínio da acurácia a partir do valor 25. Para o modelo CART esse declínio iniciou no valor de profundidade igual a 15. O desempenho dos modelos para maiores valores de profundidades das árvores confirmam que árvores complexas superajustam-se as amostras de treinamento. Como consequência, resultam em classificações equivocadas para amostras não utilizadas no treinamento. Poudyal (2012) em seu trabalho para determinar a suscetibilidade a movimento de massa no Phidim, uma área ao leste do Nepal, obteve o valor 12 como o mais apropriado para a profundidade. Esse número está entre o intervalo que resultou nos maiores valores de *Kappa* deste presente estudo.

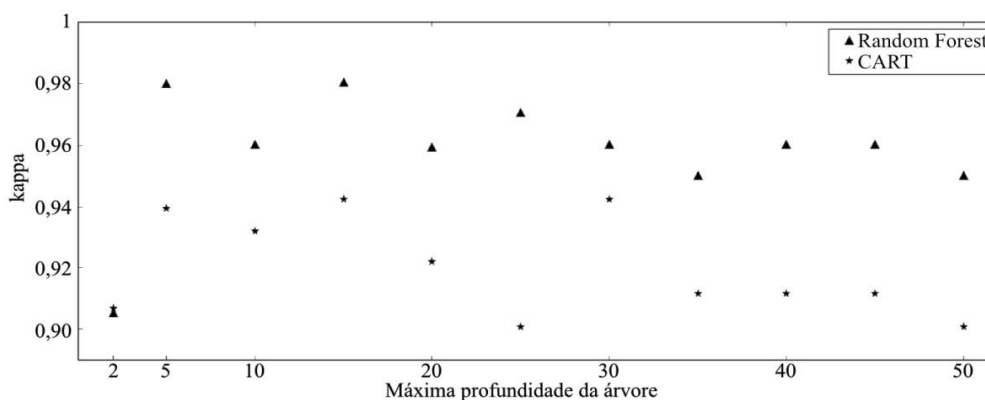


Fig. 4 - Acurácia das classificações dos modelos baseados em Árvores em relação aos valores de profundidades das árvores.

Nesse estudo o modelo de classificação mais apropriado foi o *Random Forest*, com número de árvores igual a 5 e profundidade igual 5, obtendo uma acurácia superior a 0,98 Entretanto, outros trabalhos relatam acurácias inferiores, como Saito *et al.* (2009), os autores alcançaram valores de *Kappa* próximos a 0,61, utilizando o modelo por AD C4.5, descrito no programa *WEKA* como J48, na análise da susceptibilidade a movimento de massa em uma área das Montanhas de Akaishi, Japão. Já Bui *et al.* (2012) utilizando o modelo C4.5, obtiveram uma acurácia igual a 0,86 na classificação de riscos de movimento de massa na província Hoa Binh, Vietnã.

A Figura 5 mostra a importância das variáveis utilizadas (atributos do terreno) para a discriminação das classes, com base no modelo *Random Forest*.

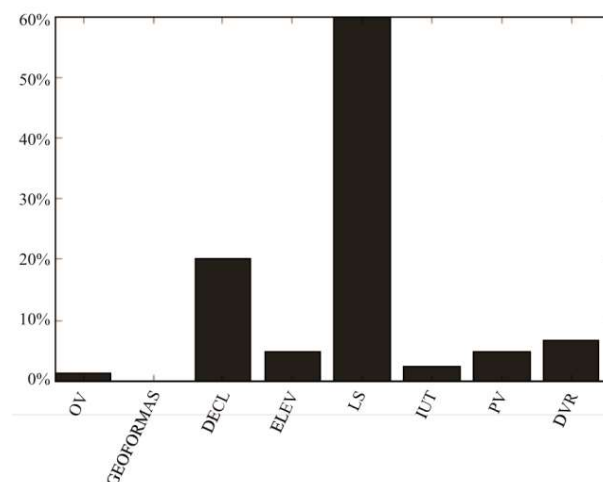


Fig. 5 - Importância dos atributos de terreno.

O atributo do terreno mais importante foi o fator topográfico (LS), com valor de importância próximo a 60%, seguido do modelo digital de elevação (ELEV), importância superior a 20%.



Esses valores indicam que os atributos LS e ELEV foram mais utilizados nos nós da árvore e proporcionaram uma maior redução da impureza dos subconjuntos.

Os demais atributos do terreno resultaram em importâncias inferiores a 10%. GEOFORMAS obteve o menor valor de importância, próximo a 0%, podendo ser desconsiderado da análise.

Dentre os atributos utilizados por Youssef *et al.* (2015), a declividade e a elevação do terreno se mostraram atributos mais importantes na análise de suscetibilidade a movimento de massa com o modelo *Random Forest*, em que a declividade resultou no maior valor de importância. Para Nefeslioglu *et al.* (2010), utilizando um modelo AD disponível no *Microsoft Server 2008 Analysis Services*, para avaliar a suscetibilidade a movimento de massa, os maiores valores foram para declividade e curvatura de perfil, e a elevação do terreno ficou entre os menos importantes. A curvatura vertical, juntamente com a curvatura horizontal, neste trabalho, foram utilizadas para construir o atributo GEOFORMAS, desse modo, futuros trabalhos podem considerar o uso dos atributos separadamente.

### 3.2 SHALSTAB

Para a geração do mapa de suscetibilidade através do *Shalstab* foram utilizados dados extraídos do MDE e dados de solo obtidos em campo por Silveira (2008), conforme descrito na metodologia.

O mapa elaborado pelo *Shalstab* contém 7 classes de suscetibilidade, baseado apenas nos dados do relevo extraídos do MDE sendo duas classes extremas, uma cronicamente instável e uma estável. A etapa da validação do mapa de log q/t consiste na inserção das amostras de escorregamentos nas classes geradas pelo modelo e, a partir da relação com o mapa do log Q/T são estabelecidos os limiares do mapa de suscetibilidade. O Quadro 1 mostra os valores de log q/t as áreas e cicatrizes para cada classe de mapeamento.

Conforme Quadro 1, a maioria das ocorrências de escorregamentos está nas classes entre os valores -3,1 e -2,8 a -2,5, que correspondem a aproximadamente 76% das ocorrências totais. Duas classes correspondem a aproximadamente 7% da área total da bacia.

Quadro 1: Escorregamentos e áreas de suscetibilidade a movimentos de massa por classe de estabilidade (*SHALSTAB*)

Classe (log Q/T)	Área das classes (%)	Cicatriz	Cicatriz (%)
<i>Cronicamente Instável</i>	0,18	2	4,25
<-3.1	2,70	20	42,55
-3,1 a -2,8	3,91	16	34,05
-2,8 a -2,5	4,39	6	12,75
-2,5 a -2,2	2,07	0	0
>-2,2	0,23	0	0
<i>Estável</i>	86,52	3	6,40

Para a elaboração do mapa de suscetibilidade foi considerado o limiar mínimo de log q/t de 2. Essa foi a melhor resposta do modelo com o mais alto valor de *Kappa* (0,82). Para o valor de -2,5, limiar que seria escolhido baseado na classificação das ocorrências de deslizamentos em relação às classes de estabilidade, o *Kappa* foi mais baixo (0,64).

As sete classes foram simplificadas para apenas duas classes, uma que corresponde às áreas estáveis, e outra de áreas críticas, para fins de comparação. Dessa forma, 3 cicatrizes ficam fora da área de instabilidade. Essas 3 amostras, possivelmente demonstram um erro do modelo em relação à qualidade necessária do MDE e das amostras. O modelo possui uma resolução de 30 metros e, nessas áreas, embora sejam de alta declividade, o mapa do *Shalstab* indicou que essa área é estável.

Analisando os mapas de declividade (Figura 3b) e de elevação (Figura 6a) gerados pelo *Shalstab* percebe-se que a maior interação entre os mapas se deu a partir da classe de -2,8 a -2,5 que apresenta a maioria da sua área nas declividades entre 40 e 60% e está na faixa entre os 400 e 600 metros de altitude. A classe de -3,1 a -2,8 ficou classificada nas áreas de declividade entre 70 e 80% e entre os 200 e 300 metros de altitude na sua maioria, enquanto que a classe cronicamente instável está na sua maior parte acima de 80% de declividade e entre os 500 e 700 metros.

Vieira e Ramos (2015) ao aplicarem o *Shalstab* em Caraguatatuba na Serra do Mar

(SP) identificaram que cerca de 55% das cicatrizes dos escorregamentos se concentraram nas classes mais instáveis, sendo elas: 16,2% (incondicionalmente instável), 12,7% ( $\log Q/T < -3,1$ ), 11,7% ( $\log Q/T -3,1$  à  $-2,8$ ) e 14,4% ( $\log Q/T -2,8$  à  $-2,5$ ). 45% das cicatrizes se concentraram nas classes “estáveis”, sendo elas; 16,4% (incondicionalmente estável), 10% ( $\log Q/T > -2,2$ ) e 18% ( $\log Q/T -2,5$  à  $-2,2$ ). Segundo os autores, as diferenças entre o planalto e as escarpas podem explicar os resultados, uma vez que o planalto concentrou uma parte da área classificada como incondicionalmente estável com a presença de cicatrizes de escorregamentos. Outra explicação seria a existência, nessa área de planalto, de cicatrizes de escorregamentos rotacionais não previstos pela estrutura matemática do *Shalstab*.

Montgomery e Dietrich (1994), reportaram que de 83% a 100% do total das cicatrizes

atingiram limites de  $\log(Q/T) < -2.5$ . Percentuais acumulativos um pouco menores foram obtidos por Dietrich e Montgomery (1998), que identificaram apenas 54% dos escorregamentos em valores de  $\log(Q/T) < -3.1$ , 68% em  $\log(Q/T) < -2.8$  e 90% em  $\log(Q/T) < -2.5$ .

### 3.3 Comparação entre os modelos

O fator LS foi selecionado pelo modelo *Random Forest* como o mais importante na discriminação das classes, esse atributo combina o comprimento de rampa (L) e a declividade (S) do terreno, altos valores para esse atributo correspondem em maiores velocidades do escoamento superficial, uma vez que, a suscetibilidade a movimento de massa está diretamente relacionada a declividade do terreno e a precipitação, o LS pode ser um atributo a ser considerado em futuros estudos de movimentos de massa.

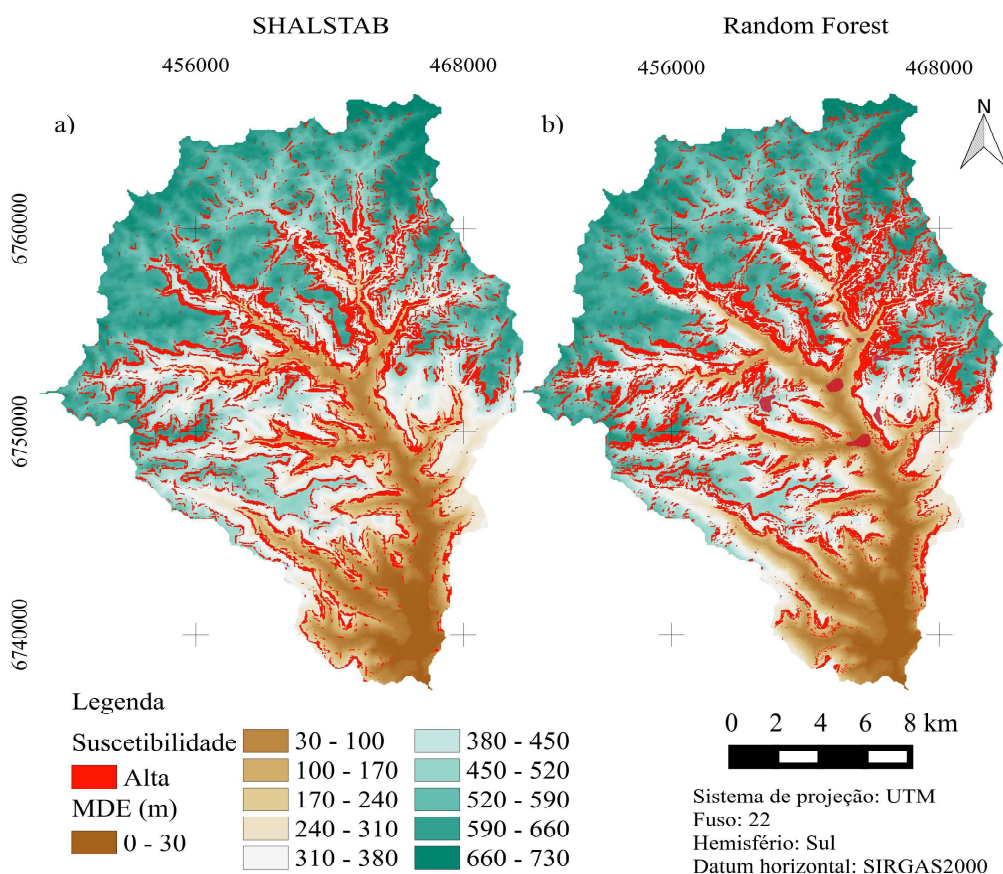


Fig. 6 – Classe de suscetibilidade: a) *Shalstab*; e b) *Random Forest*.

A declividade foi selecionada por ser o atributo de maior importância no modelo *Shalstab*, já que influencia diretamente na ocorrência de movimentos de massa. De modo

geral, áreas de maior declividade são mais suscetíveis a movimentos de massa. Percebe-se no mapa que grande parte das ocorrências amostradas estão localizadas em áreas com



declividades superiores a 40%, as mesmas áreas se sobrepõem nos mapas de suscetibilidade, pois tanto o modelo *Random Forest* quanto o *Shalstab* são influenciados pela declividade (figuras 3a e 3b).

A Figura 6 apresenta as áreas com alta suscetibilidade a movimento de massa, obtidas pelas classificações dos modelos *Shalstab* (Figura 6a) e *Random Forest* (Figura 6b). Também estão representados os mapas hipsométricos, separados em 11 classes com elevações entre 30 e 730 metros. As classificações de ambos os modelos foram selecionadas porque resultaram nos maiores valores de *Kappa*.

Para o *Shalstab* o maior valor de *Kappa* foi obtido com o limiar de seleção igual a 2 (Figura 6a), no qual obteve *Kappa* igual a 0,82 (Quadro 2). Já para o *Random Forest*, o melhor caso, resultou em um valor de *Kappa* igual a 0,98 (Quadro 2).

Quadro 2: Matriz de confusão dos modelos

Classes	<i>SHALSTAB</i>		<i>Random Forest</i>	
	Baixa	Alta	Baixa	Alta
<b>Baixa</b>	762	16	762	2
<b>Alta</b>	0	39	0	53
<b>Total</b>	762	55	762	55
<b>AP</b>	100%	70,9%	100%	96,4%
<b><i>Kappa</i></b>	0.82		0.98	
<b>Variância</b>	0.0020746		0.0001960	

A análise do *Shalstab* (Figura 6a) mostra que o modelo classificou áreas com altos valores de declividade em todas as encostas como suscetíveis, e também em áreas com forte convergência de linhas de drenagem, amparado pela influência que as vertentes convergentes possuem em relação à suscetibilidade a deslizamentos.

O modelo *Random Forest* (Figura 6b) considerou mais áreas com alta suscetibilidade, principalmente na região nordeste, e nas encostas orientadas para leste e norte não foram classificadas como alta suscetibilidade.

Como o modelo *Random Forest* considerou vários atributos de terreno, dentre eles a orientação das vertentes (OV), no momento em que as regras de classificação foram geradas, o

modelo desconsiderou as encostas orientadas para leste e norte. No referencial teórico utilizado no trabalho, percebe-se que o atributo de orientação de vertentes não é utilizado como variável para mapeamento de suscetibilidade.

Ao comparar os dois modelos percebe-se que o *Random Forest* classificou como de alta suscetibilidade uma área superior à classificada pelo *Shalstab*. O que pode ser explicado tendo em vista que o *Random Forest* relaciona diretamente as amostras de deslizamentos com as características das áreas suscetíveis, enquanto que o *Shalstab* realiza uma exclusão de áreas suscetíveis, definidas pelos dados de entrada do relevo a partir do cruzamento de informações com as amostras de deslizamentos, etapa compreendida no *Shalstab* como de validação.

Ao considerar a área mapeada, o modelo *Random Forest* classificou como de alta suscetibilidade um total de 90.457 pixels, o que corresponde a 8.141,13 ha da área da bacia, enquanto que o modelo *Shalstab* classificou 60.416 pixels, ou 5.437,44 ha.

O Quadro 2 apresenta as matrizes de confusão dos modelos. No total foram selecionados 762 pixels para a classe Baixa e 55 pixels para a classe Alta. Identifica-se que os modelos *Shalstab* e *Random Forest* classificaram a classe com baixa suscetibilidade em uma AP igual a 100%.

Os erros de classificação foram identificados para a classe com alta suscetibilidade, como pode ser constatado no valor da AP para o modelo *Random Forest*, que foi igual a 96,4%. Para o *Shalstab* a AP foi de 70,9%, indicando que as áreas com alta suscetibilidade estão classificadas como baixa.

Avaliando estatisticamente em um nível de significância de 5%, os valores de *Kappa* e as respectivas variâncias dos modelos, define-se que esses resultados são diferentes, ou seja, a classificação por meio do *Random Forest* resultou em uma acurácia superior ao do *Shalstab*. Ambos os modelos representaram resultados coerentes para identificar áreas suscetíveis a deslizamentos. O modelo *Random Forest*, no entanto, apresentou resultados mais satisfatórios, pois utiliza apenas parâmetros locais baseados nas características da área de estudo, enquanto que o *Shalstab* possui uma hierarquia em classes já estabelecidas no seu modelo. Além disso o *Shalstab* possui uma

capacidade menor de detectar as amostras de deslizamentos diferentes do *Random Forest* que classificou quase o total das amostras dentro de áreas suscetíveis.

#### 4. CONCLUSÕES

O modelo *Random Forest* apresentou resultados mais satisfatórios em relação ao índice de acerto, se comparado com o modelo *Shalstab*, atestado pelos valores de *Kappa* e pela validação em relação às cicatrizes localizadas nas áreas classificadas como críticas. Apresentando melhor adaptação em relação às características da área.

Essa diferença nos resultados pode ter sido influenciada pelos seguintes motivos: (a) o *Shalstab* utiliza dados pré-estabelecidos em outras áreas para a geração dos algoritmos, que podem ter características diferentes da área de estudo e interferir nos resultados, enquanto que o modelo Árvore de Decisão utiliza apenas dados da área de estudo; (b) o modelo Árvore de Decisão estabelece as áreas de suscetibilidade a partir de dados de entrada, incluindo as amostras de deslizamentos e as características do relevo, enquanto que o *Shalstab* utiliza apenas dados do relevo; (c) as amostras de deslizamentos são utilizadas como dados de validação, para eliminar áreas que tenham sido consideradas como suscetíveis, no entanto, sem cruzamento de informações com as áreas de amostras; (d) o *Shalstab* é utilizado apenas para deslizamentos planares, sendo que alterações geomorfológicas podem trazer diferenças nos resultados, e ainda que devido ao tamanho do pixel, é necessário uma imagem de alta resolução para dados mais precisos.

Ressalta-se que a diferença entre os resultados dos modelos é pequena. Ambos podem representar de forma satisfatória o objetivo final de geração de mapa de suscetibilidade. No entanto, o modelo *Shalstab* apresenta mais limitações, devido à necessidade de dados de grande resolução, para uma boa resposta da análise.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALLABIO C.; STERLACCHINI S. Support Vector Machines for Landslide Susceptibility Mapping: The Staffora River Basin Case Study, Italy., **Mathematical Geosciences**, v. 44, n. 1, p. 47–70, 2014.

BARBIERI, D. W.; FERREIRA, C. C.; SAITO, S. M.; SAUSEN, T. M.; HANSEN, M. A. F. Relação entre os desastres naturais e as anomalias de precipitação para a região Sul do Brasil. **XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, p. 3527-3534, 2009.

BUI, D. T.; PRADHAM, B.; LOFMAN, O.; REVHAUG, I. Landslide Susceptibility Assessment in Vietnam Using Support Vector Machines, Decision Tree, and Naïve Bayes Models. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2012, n. 1, 2012, 26p.

BREIMAN L Random Forest. **Machine Learning** v. 45, n.1, p. 5–32, 2001.

BREIMAN L.; FRIEDMAN JH.; OLSHEN RA.; STONE CJ. **Classification and regression trees**. Chapman & Hall, New York, 1984, 355p.

CARDOSO, D. **Análise da suscetibilidade a movimentos de massa no município de Peruíbe - SP, com o apoio de um sistema integrador de informações georreferenciadas**. Dissertação (Mestrado em Geociências). Universidade Estadual de São Paulo. Rio Claro, 2005, 128p.

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES (CEPED). **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2010**. Brasil. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2012, 88p.

CONRAD, O.; BECHTEL, B.; BOCK, M.; DIETRICH, H.; FISCHER, E.; GERLITZ, L.; WEHBERG, J.; WICHMANN, V.; BOHNER, J.; System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4. **Geoscientific Model Development**, v. 8, n. 7, p. 1991-2007, 2015.

DIETRICH, W. E.; MONTGOMERY, D. R. **SHALSTAB: a digital terrain model for mapping shallow landslide potential**. NCASI (National Council of the Paper Industry for Air and Stream Improvement) Technical Report, 1998, 29p.

EMERGENCY DATABASE (EM-DAT). OFDA/CRED **The Office of Foreign Disaster Assistance/Centre for Research on the Epidemiology of Disasters** - Université Catholique de Louvain, Brussels, Belgium. (s/d.). Disponível em: <<http://www.emdat.be/>>

- disaster\_trends/index.html>. Acesso: em 15 ago. 2016.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 4. ed. Brasília: EMBRAPA, 2014. 376 p.
- FERNANDES, N. F.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; VIEIRA, B. C.; MONTGOMERY, D. R. Condicionantes Geomorfológicos dos Deslizamentos nas Encostas: Avaliação de Metodologias e Aplicação de Modelo de Previsão de Áreas Suscetíveis. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 2, n. 1, p. 51-71, 2001.
- FUAN TSAI; JHE-SYUAN LAI; WALTER W. CHEN; TANG-HUANG LIN. Analysis of topographic and vegetative factors with data mining for landslide verification. **Ecological Engineering**, 2013, 61p.
- LICCO, E. A. Vulnerabilidade social e desastres naturais: uma análise preliminar sobre Petrópolis, Rio de Janeiro. **Interface, Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade**, SP, v. 8, n. 1, p 24-41, 2013.
- MAFFRA, C. Q. T.; MAZOLLA M. As razões dos desastres em territórios brasileiros. In: **Vulnerabilidade Ambiental** / Rozely Ferreira dos Santos, organizadora. – Brasília: MMA, 2007. 192 p.
- MARCELINO, E. V.; NUNES, L. H.; KOBAYAMA, M. Banco de dados de desastres naturais: Análise de dados globais e regionais. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 6, n. 19, p. 130-149, 2006.
- MARTINI, L. C. P.; UBERTI, A. A. A.; SCHEIBE, L. F.; COMIN, J. J.; OLIVEIRA, M. A. T. Avaliação da suscetibilidade a processos erosivos e movimentos de massa: decisão multicriterial suportada em sistemas de informações geográficas. **Geologia. USP, Série Científica**. v. 5, n. 2, São Paulo, p. 41-52, 2006.
- NEFESLIOGLU, H. A.; SEZER, E.; GOKCEOGLU, C.; BOZKIR, A. S.; DUMAN, T. Y. Assessment of Landslide Susceptibility by Decision Trees in the Metropolitan Area of Istanbul, Turkey. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2010, n. 1, 2010, 15p.
- OLIVEIRA, G. G. **Modelos para previsão, espacialização e análise das áreas inundáveis na bacia hidrográfica do rio Caí, RS**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010, 150p.
- OLIVEIRA, G. G.; GUASSELLI, L. A.; SALDANHA, D. L. Influência de variáveis morfométricas e da distribuição das chuvas na previsão de enchentes em São Sebastião do Caí, RS. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 27, n. 3. p. 140-155, 2010.
- OLIVEIRA, M. T. **Estudo de movimentos de massa gravitacionais no município de Belo Horizonte, MG**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2009, 279 p.
- PARIZI, M. G.; SEBASTIÃO, C. S.; VIANA, C. S.; PFLUEGER, M. C.; CAMPOS, L; C.; CAJAZEIRO, J. M. D.; TOMICH, R. S.; GUIMARÃES, R. N.; ABREU, M. L.; SOBREIRA, F. G.; REIS, R.; Correlações entre chuvas e movimentos de massa no município de Belo Horizonte, MG, **Geografias: Artigos Científicos**, v.2, n.6, p. 49-68, 2010.
- PECHINCHA, M. G. H.; ZAIDAN, R. T. Risco a ocorrência de movimento de massa e seu potencial na análise da qualidade ambiental. **Revista de Geografia**, v. 2, n. 2, p. 1-7, 2013.
- POUDYAL, C. P. Landslide susceptibility analysis using decision tree method, Phidim, Eastern Nepal. **Bulletin of the Department of Geology**, v. 15, n. 1, p. 69-76, 2012.
- QIAN, Y.; ZHOU, W.; YAN, J.; LI, W.; HAN, L. Comparing Machine Learning Classifiers for Object-Based Land Cover Classification Using Very High Resolution Imagery. **Remote Sensing**, v. 7, n. 1, p. 153-168, 2015.
- QUINLAN, R. Improved use of continuous attributes in C4.5. **Journal of Artificial Intelligence Research**, v. 4, n. 279, p. 77-90, 1996.
- RECKZIEGEL, E. W. **Identificação e mapeamento das áreas com perigo de movimento de massa no município de Porto Alegre, RS**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal do Rio Grande

do Sul. Porto Alegre, 2012, 90p.

REIS, J. T.; SILVA, J. S.; MICHEL, G. P.; KOBAYAMA, M. Mapeamento da vulnerabilidade a desastres hidrológicos nos municípios de Alto Feliz e São Vendelino/RS como forma de contribuição à engenharia de sedimentos. In: **Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos (ENES)**, 2014, João Pessoa. Anais do evento, 2014, 17p.

RIFFEL, E. S. **Análise e mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos de massa na bacia hidrográfica do Rio Paranhana (RS)**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012, 105p.

RODRIGUES, B. B. **Proposta de sistemática para tomada de decisão relativa a movimentos de massa gravitacionais: aplicação em Ouro Preto (MG)**. Tese (Doutorado em Geociências). Universidade Estadual Paulista, 2002, 308p.

ROSSATO, M. S. **Os climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, tendências e tipologia**. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011, 253p.

SANTOS, V. **Influência da escala no mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos de massa com o SHALSTAB na microbacia do Ribeirão do Baú, Ilhota/SC**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2015, 126p.

SAITO, H.; NAKAYAMA, D.; MATSUYAMA, H. Comparison of landslide susceptibility based on a decision-tree model and actual landslide occurrence: The Akaishi Mountains, Japan. **Geomorphology**, v. 109, n. 3, p. 108-121, 2009.

SCHENKEL, J. C. **Mapeamento das áreas de risco de escorregamentos translacionais na bacia do arroio Forromeco**. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2014, 76p.

SEMA. **Banco de dados Bacia Hidrográfica do rio Caí** Disponível em: <[http://www.sema.rs.gov.br/conteudo.asp?cod\\_menu=56&cod\\_conteudo=5864](http://www.sema.rs.gov.br/conteudo.asp?cod_menu=56&cod_conteudo=5864)>. Acesso em: 23 ago. 2016.

SILVEIRA, H. L. S.; VETTORAZZI, C. A.;

VALENTE, R. A. Avaliação multicriterial no mapeamento da suscetibilidade de deslizamentos de terra. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 38, n. 6, p. 973-982, 2014.

SILVEIRA, R. M. **Comportamento geotécnico de um solo coluvionar de São Vendelino (RS)**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2008, 302p.

SILVEIRA, R. M. P.; SILVEIRA, C. T.; OKAFIORI, C. Emprego de técnicas de inferência espacial para identificação de unidades de relevo apoiado em atributos topográficos e Árvores de Decisão. **Revista Brasileira de Geomorfologia** v. 15, n. 1, p. 87-101, 2014.

SONG, Y.; GONG, J.; GAO, S.; WANG, D.; CUI, T.; LI, Y.; WEI, B. Susceptibility assessment of earthquake-induced landslides using Bayesian network: a case study in Beichuan, China. **Journal Computers & Geosciences**, v. 42, n. 1, p. 189-199, 2012.

SOUZA, C. R. G. Flooding in the São Sebastião region, northern coast of São Paulo state, Brazil. **Anais Academia Brasileira Ciências**, v. 70, n. 2, p. 353-366, 1998.

TOMINAGA, L. K. Escorregamentos. In: **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, p. 25-38, 2009.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Orgs) **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009, 196p.

VANACÔR, R. N. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento aplicados ao mapeamento das áreas suscetíveis a movimentos de massa na região nordeste do Estado do Rio Grande do Sul**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2006, 132p.

VIEIRA, B. C. **Previsão de Escorregamentos Translacionais Rasos na Serra do Mar (SP) a Partir de Modelos Matemáticos em Bases Físicas**. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2007, 193p.

VIEIRA, B. C.; RAMOS, H. Aplicação do modelo *Shalstab* para mapeamento da suscetibilidade a

escorregamentos rasos em Caraguatatuba, Serra do Mar (SP), **Revista do Departamento de Geografia – USP**, v. 29, n. 1, p. 161-174, 2015.

WITTEN, I.H.; FRANK, E.; HALL, M.A. **Data Mining: Practica Machine Learning Tools and Techniques**, 3ed. San Franscisco: Morgan Kaufmann, 2011, 558p.

YOUSSEF, A.M.; POURGHASEMI, H.R.;

POURTAGHI, Z.S.; AL-KATHEERI, M.;. Landslides susceptibility mapping using random forest. **Landslides**. v. 13, n. 5, p. 839-856, 2016.

ZUQUETTE, L. V. **Movimentos de massa gravitacionais - proposta de um sistema de previsão: aplicação na área urbana de Campos de Jordão - SP**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade de São Paulo. São Carlos, 2005, 390p.

## **CAPÍTULO 3 - Considerações Finais**

---

### **4. Considerações Finais**

O maior registro de ocorrências de desastres no Brasil representa também um aumento de perdas e danos com relação direta na perda de vidas e nos impactos na economia de estados e municípios. Por isso, é necessário mais investimentos na prevenção a partir de uma correta análise das áreas e das causas dos desastres.

É importante ressaltar que a legislação nacional avançou em relação à redução de desastres, como na Lei N° 12.608 de 2012, que institui a política nacional de Proteção Civil e define como responsabilidade da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios a adoção de medidas necessárias à redução dos riscos de desastre. Essa lei abrange também as ações de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação voltadas à proteção e à defesa civil.

Deve-se ressaltar também os compromissos que os governos a nível mundial têm tomado em relação à diminuição das consequências dos desastres diante da importância que as discussões sobre esses eventos adversos têm alcançado. O Marco de Sendai para a Redução de Riscos de Desastres 2015-2030 representa um importante passo para uma redução significativa das mortes, destruições e deslocamentos causados pelos desastres. Os 187 países que compareceram à Terceira Conferência Mundial da ONU para a Redução de Riscos de Desastres também reafirmaram a necessidade de antecipar, planejar e reduzir o risco para proteger pessoas, comunidades e países de forma mais efetiva, bem como construir uma maior resiliência é considerada uma medida “urgente e crítica” (ONU, 2015).

Segundo Bateira (2006), a análise dos desastres naturais aparece cada vez mais como uma integração o meio físico e a ação humana. O homem é um elemento da vida e da dinâmica terrestre, o que torna mais difícil a análise dos desastres naturais separadamente de todos os outros desastres, nomeadamente os desastres tecnológicos. A relação do homem com o meio

tem se intensificado, mas apenas atualmente a sociedade está percebendo as consequências de suas ações. A análise dos conceitos de vulnerabilidade e de risco, conceitos ligados diretamente à sociedade, são conceitos essenciais ao se trabalhar com movimentos de massa.

De forma objetiva, a partir das referências analisadas, pode-se considerar a suscetibilidade como uma característica física/natural do meio para a ocorrência de um evento. Essas características podem tornar determinada porção do relevo suscetível a deslizamento, independente da influência antrópica. O perigo é, por sua vez, uma situação potencial de ocorrência de um determinado evento, contanto que alguns autores utilizem o termo “ameaça” para se referir a esse conceito. A vulnerabilidade é relacionada ao ser humano e a sua capacidade de suportar o desastre. Risco ainda é o conceito que gera mais confusão, sendo que a maioria dos autores, levando em consideração o perigo e a vulnerabilidade, classifica o risco como a probabilidade de ocorrência de um desastre, considerando também que o risco é um dado que pode ser quantificado.

Em relação aos movimentos de massa, percebe-se um consenso em relação à diferenciação entre deslizamentos e corridas. São claras as características entre as suas dimensões e seu poder destrutivo, sendo relevante discutir alguns fatores que podem levar a sua gênese, como a influência da força gravitacional e da água, por exemplo. Ao analisarmos os desastres a partir dos movimentos de massa, devemos considerar uma conjunção de fatores que são os elementos naturais e sociais do meio, representados pela suscetibilidade, perigo, vulnerabilidade e risco. Entretanto, esses conceitos ainda devem ser muito debatidos, pois os conhecimentos teóricos sobre os desastres e movimentos de massa podem contribuir para o entendimento dos processos envolvidos e o avanço das pesquisas.

A declividade é um dos principais fatores desestabilizadores causadores de movimentos de massa aliado aos fatores pluviométricos e geomorfológicos. Esses parâmetros podem ser observados em Três Coroas, onde ocorre uma combinação das características físicas, somadas as alterações antrópicas da encosta, que leva a movimentação.

É importante salientar que a suscetibilidade por si só, não constitui um fator deflagrador dos movimentos de massa, no entanto, a área identificada

como suscetível, possui todos os atributos geomorfológicos necessários para que haja a ocorrência quando somada a algum outro fator que imprima perigo, como a ocupação ou elevados índices pluviométricos.

Outro grande causador das ocorrências de movimentos de massa é a ocupação das encostas, algumas vezes irregular, outras não. As encostas estão incluídas na legislação ambiental, como áreas sob proteção ambiental e com restrição à ocupação. No entanto, o que se vê é que a legislação é pouco conhecida e pouco difundida entre as prefeituras de cidades pequenas, além de que a proibição, sem alguma espécie de compensação se mostra ineficaz, e isso somado à falta de fiscalização, só torna mais fácil a ocupação dessas áreas.

Baseado nas diversas metodologias pesquisadas, não se pode afirmar que apenas uma característica é responsável pela ocorrência de movimentos de massa. Mas sim que é necessário uma integração de diversas variáveis para se ter uma análise mais precisa das áreas suscetíveis a movimentos de massa. Um desses fatores e que é essencial, são as ocupações humanas, pois além de serem os principais afetados, são em alguns casos também, um dos fatores responsáveis pelo deflagramento dos movimentos de massa. Ao ocupar áreas com alta declividade, promover cortes no solo e aterros instáveis para a construção de moradias e estradas de acesso, além da deposição de resíduos sólidos, ausência de drenagem de águas pluviais e retirada da cobertura vegetal. É importante salientar que os conceitos de suscetibilidade e risco são diferentes, no entanto, a suscetibilidade é uma das variáveis necessárias para que haja o risco.

No mapeamento de suscetibilidade realizado na bacia do arroio Forromeco o modelo *Random Forest* apresentou resultados mais satisfatórios, em relação ao índice de acerto, se comparado com o modelo *Shalstab*, atestado pelos valores de *Kappa* e pela validação em relação às cicatrizes localizadas nas áreas classificadas como críticas. Apresentando melhor adaptação em relação às características da área.

Essa diferença nos resultados pode ter sido influenciada pelos seguintes motivos: (a) o *Shalstab* utiliza dados pré-estabelecidos em outras áreas para a geração dos algoritmos, que podem ter características diferentes da área de estudo e interferir nos resultados, enquanto que o modelo *Árvore de Decisão*



utiliza apenas dados da área de estudo; (b) o modelo Árvore de Decisão estabelece as áreas de suscetibilidade a partir de dados de entrada, incluindo as amostras de deslizamentos e as características do relevo, enquanto que o *Shalstab* utiliza apenas dados do relevo; (c) as amostras de deslizamentos são utilizadas como dados de validação, para eliminar áreas que tenham sido consideradas como suscetíveis, no entanto, sem cruzamento de informações com as áreas de amostras; (d) o *Shalstab* é utilizado apenas para deslizamentos planares, sendo que alterações geomorfológicas podem trazer diferenças nos resultados, e ainda que devido ao tamanho do pixel, é necessário uma imagem de alta resolução para dados mais precisos.

Ressalta-se que a diferença entre os resultados dos modelos é pequena. Ambos podem representar de forma satisfatória o objetivo final de geração de mapa de suscetibilidade. No entanto, o modelo *Shalstab* apresenta mais limitações, devido à necessidade de dados de grande resolução, para uma boa resposta da análise.

Por fim buscou-se com esse trabalho contribuir com uma maior qualificação em relação à prevenção e redução de danos, ocasionados por deslizamentos e também contribuir com a aplicação de metodologias, utilizando SIG e Sensoriamento Remoto, em complemento ao trabalho de campo. Fazem-se necessários também inventários consistentes de ocorrências de movimentos de massa e mais dados geológicos, pedológicos e de precipitação, para assim obter uma maior confiabilidade na aplicação dos modelos.

## 5. Referencias

AHRENDT, A. **Movimentos de massa gravitacionais – proposta de um sistema de revisão: aplicação na área urbana de Campos do Jordão – SP.** Tese de Doutorado em Geotecnia. Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

ALEOTTI, P.; CHOWDHURY, R. Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, v. 58, n. 1, p.21-44, 1999.

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

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

ANBALAGAM, R. Landslide hazard evaluation and zonation mapping in mountainous terrain. **Engineering Geology**, v. 32, n.4, p. 269-277, 1992.

AUGUSTO FILHO, O. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 1, 1992, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABMS/ABGE. p. 721-733.

AUGUSTO FILHO, O.; CERRI, L.E.S. **Programa Serra do Mar: Carta geotécnica da Serra do Mar nas folhas de Santos e Riacho Grande.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 1992. 49p.

AYALEW, L.; YAMAGISHI, H. The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. **Geomorphology**, v.65, n1-2, p. 15-31, 2005.

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

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

BARELLA, C. F. **Abordagens estatísticas aplicadas ao mapeamento de suscetibilidade a movimentos de massa: análise de diferentes técnicas no contexto do Quadrilátero Ferrífero**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da Universidade Federal de Ouro Preto – MG, 253P, 2016.

BARROS, R. S.; CRUZ, C. B. M. **Avaliação da altimetria do modelo digital de elevação do SRTM**. XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - INPE, Florianópolis, Brasil, 2007.

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

BENDA, L.E.; CUNDY, T.W. Predicting deposition of debris flows in mountain channels. **Canadian Geotechnical Journal**, 27, p.409-417, 1990.

BEZERRA, L. T. V. **Mapeamento de Risco/Perigo de movimentos de massa e avaliação da estabilidade das encostas na comunidade São José do**

**Jacó em Natal/RN.** Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Civil. Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal-RN, 2016.

BIGARELLA, J. J.; BECKER, R. D.; PASSOS, E. **Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais.** Vol.3, Cap.8, Editora da UFSC. Florianópolis, 2003, p.1026-1098.

BISHOP, A. W. The use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes. **Geotechnique**, Vol. 5, n. 1, 1995, p7-17.

BISPO, P. C.; ALMEIDA, C. M.; VALERIANO, M. M.; MEDEIROS, J. S. CREPANI, E. Avaliação da suscetibilidade aos movimentos de massa na região de São Sebastião-SP com o uso de técnicas de geoprocessamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 3583-3590. DVD, Online. ISBN 978-85-17-00044-7. (INPE-15824-PRE/10434). Disponível em: <<http://martemarte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.16.07.45/doc/3583-3590.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2014.

BITAR, O.Y. **Instrumentos de gestão ambiental (IGAs) aplicáveis ao planejamento, instalação, operação e desativação de empreendimentos.** In: SIMPÓSIO SOBRE GESTÃO AMBIENTAL, 1., SimGeA 2001, São Paulo, 2001

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

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

BRAGA, T. M; OLIVEIRA, E. L. ; GIVISEZ, G. H. N. Avaliação de metodologias de mensuração de risco e vulnerabilidade social a desastres naturais

associados à mudança climática. **Anais...** XV Encontro Nacional de Estudos Populacionais, ABEP, Caxambu, 2006. Disponível em: <[www.abep.nepo.unicamp.br/encontro2006/.../ABEP2006\\_204.pdf](http://www.abep.nepo.unicamp.br/encontro2006/.../ABEP2006_204.pdf)> Acessado em: 15 jul. 2014

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

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

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

BRITO, M. M. **Geoprocessamento aplicado ao mapeamento da suscetibilidade a escorregamentos no município de Porto Alegre, RS.** Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre-RS, 2014.

BRUBACHER, J. P.; OLIVEIRA, G. G.; GUASSELLI, L. A.; LUERCE, T. D. Avaliação de bases SRTM para extração de variáveis morfométricas e de drenagem. **Geociências**, São Paulo, UNESP, v. 31, n. 3, p. 381-393, 2012.

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

CÂMARA, G.; CASANOVA, M.A.; HEMERLY, A.S.; MAGALHÃES, G.C.; MEDEIROS, C.M.B. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica.** São

José dos Campos: INPE. Campinas: IBM Brasil/ CPqD-Telebrás/Unicamp, 1996. 193p.

CARDOZO, F. S.; HERRMANN, M.L.P. Uso da técnica AHP no mapeamento de áreas suscetíveis a escorregamento. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2011. P. 4134-4141.

CARMO, A. M.; SOUTO, M. V. S.; DUARTE, C. R.; LOPES, P. S.; SABADIA J. A. B. Avaliação de suscetibilidade à movimentos de massa, utilizando variáveis morfométricas, para as serras da porção Sul do Maciço Central do Ceará. **Revista Brasileira de Cartografia** n 68/9 Edição Especial Movimentos de Massa e Processos Erosivos 1787-1804. 2016

CARVALHO, C. S.; GALVAO T. (orgs.) **Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para Elaboração de Políticas Municipais**. Ed. Gráfica Brasil. Brasília, Ministério das Cidades; Cities Alliance; 2006, 111p.

CARVALHO, T.M. Aplicação de Modelos Digitais do Terreno (MDT) em Análises Macrogeomorfológicas: o Caso da Bacia Hidrográfica do rio Araguaia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, N1, 85-93p. 2004.

CARRARA, A.; CARDINALI, M.; DETTI, R.; GUZZETTI, F.; PASQUI, V.; REICHENBACH, P. GIS techniques and statistical models in evaluation landslide hazard. **Earth Surface Processes and Landforms**, v.16, n.5 p. 427-445, 1991.

CASADEI, M.; DIETRICH, W. E.; MILLER, N.L. Testing a model for predicting the timing and location of shallow landslide initiation in soil-mantled landscapes. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 28, n.9, p. 925-950, 2003.

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

\_\_\_\_\_. **Geomorfologia.** [S.l.]: [2005]. Disponível em: <<http://www.funape.org.br/geomorfologia/>>. Acesso em: 22 de novembro de 2014.

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

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

CASTRO, J. M. G. **Pluviosidade e movimentos de massa nas encostas de Ouro Preto.** 2006. 138 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Civil) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2006.

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES (CEPED). **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2010: volume Brasil.** Florianópolis: UFSC; 2012.

CERRI, L. E. S.; NOGUEIRA, F. R.; CARVALHO, C. S.; MACEDO, E. S.; AUGUSTO FILHO, O. Mapeamento de risco em assentamento precários no município de São Paulo (SP). **Geociências,** v. 26, n. 2, p. 161-180, 2007.

CHORLEY, R. J.; SCHUMM, S. A.; SUGDEN, D. E. **Geomorphology.** Cambridge: Methuen, 1984. 606 p.

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

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

CLERICI, A.; PEREGO, S.; TELLINI, C.; VESCOVI, P. A procedure for landslide susceptibility zonation by the conditional analysis method. **Geomorphology**, v. 48, p. 349 – 364, 2002.

COELHO NETTO, A.L.; AVELAR, A.S.; SATO, A.M.; FERNANDES, M.C.; OLIVEIRA, R.R.; CINTRA, R.V.; BRABOSA, L.; LIMA, P.H.; LACERDA, W.A. **Metodologia para Elaboração de Cartas de Suscetibilidade e Risco a Movimentos de Massa (escala 1:5.000): Aplicação na Área Central de Angra dos Reis/RJ**. In: COBRAE, Angra dos Reis. COBRAE´13. São Paulo: ABMS ABGE, Anais, 2013. v.1, p.203-210.

COSTA, J.E. **Physical geomorphology of debris flows**. In: J.E Costa and P.J. Fleisher (eds), *Developments and Applications in Geomorphology*. Springer Verlag, New York, p. 268-317, 1984

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. (1999). **“Projeto: Análise de consistência de dados fluviométricos Bacias do Atlântico Sul, trecho sudeste sub-bacia 87 sub-bacia do Rio Caí: relatório técnico”**. Porto Alegre-RS. 1v.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. de; AZEVEDO, L. G. de; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V. **Curso de Sensoriamento Remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico**. São José dos Campos: INPE, 1996. 24 p. Metodologia desenvolvida para subsidiar o Zoneamento Ecológico - Econômico e capacitar os técnicos dos estados da Amazônia Legal (Convenio SAE/INPE). (INPE 6145-PUD/82). Disponível em: <<http://mtcm12.sid.inpe.br/rep-/sid.inpe.br/sergio/2004/05.13.15.34>>. Acesso em: 21 jun 2014.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. Sensoriamento Remoto e geoprocessamento aplicados ao estudo de movimentos de massa no Município de Caraguatatuba - SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10. (SBSR), 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2001. p. 931-933. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00016-1. (INPE-8300-PRE/4090).



Disponível em:<<http://urlib.net/dpi.inpe.br/lise/2001/09.19.12.45>>. Acesso em: 21 jun. 2014.

CRUDEN, D.M.; VARNES, D.J. Landslide types and processes. In: A.K. Turner and R.L. Schuster (eds), **Landslides Investigation and Mitigation. Transportation Research Board**, US National Research Council, Washington, DC. Special Report 247, p.36-75, 1996.

CRUZ, O. **Estudo dos processos geomorfológicos do escoamento pluvial na área de Caraguatatuba – SP**. Tese de Livre Docência. FFLCH-USP, S. Paulo, 1982

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

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

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

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

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

DEBASTIANI, A. B.; SOUZA, M.; SANTOS, M. AP. B.; SILVA, R. D.; SCHWADE, G. M.; LELIS, L.; BOTELO, M. F. Árvore de decisão aplicada na identificação de áreas de risco de deslizamento: comparação dos métodos J48, *Functional Trees* e *Random Tree*. In: VIII Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, 1 a 4 de dezembro de 2013, Curitiba, PR. **Anais...** Curitiba, PR. 2013.

DELMONACO, G., IPPOLITO, F., MARGOTTINI, C. The CEC Project. Meteorological Factors influencing slope stability and slope movement type: evaluation of hazard prone areas. Proc. 1st Review Meeting of Hydrological and Hydrogeological Risks. **Brussels**, p. 259-283, editado por R. Casale, Official Publications of European Communities. Bruxelas, 1995.

DIETRICH, W. E.; MONTGOMERY, D. R. **SHALSTAB: a digital terrain model for mapping shallow landslide potential**. NCASI (National Council of the Paper Industry for Air and Stream Improvement) Technical Report, 1998, 29p.

ÉGAS, H. M.; FLORES, J. A. A.; PELLERIN, J. R. G. M. Análise de Áreas de Risco a Movimentos de Massa: Rua União da Vitória, Valparaíso, Blumenau, SC. In: VIII Simpósio Nacional de Geomorfologia, III Encontro Latino Americano de Geomorfologia, I Encontro Ibero Americano de Geomorfologia e I Encontro Ibero-Americano do Quaternário, 2010, **Anais...** Recife, PE. 2010.

ESPÓSITO, C. C.; BUENO, G. T.; LOBO, C. F. F., SOUSA, J. B. Estrutura de Rochas Metassedimentares e Vulnerabilidade aos Movimentos de massa de Massa – Bacia do Córrego do Cercadinho, Belo Horizonte – MG. **Anais...** Simpósio Brasileiro de Geomorfologia.8. Recife-PE, 2010.

FARIA, D. G. M.; AUGUSTO FILHO, O. Aplicação do Processo de Análise Hierárquica (AHP) no Mapeamento de Perigo de Escorregamentos em Áreas Urbanas. **Rev. Inst. Geol.**, São Paulo, v.34, n.1, p. 23-44, junho 2013.

FARIA, R. ROCHA, G.C. Z Aidan, R.T. A Eficácia de Previsões de Ocorrência de Movimentos de Massa em Juiz de Fora – MG. In: XIII Simpósio Brasileiro de

Geografia Física e Aplicada, Universidade Federal de Viçosa, **Anais...** Viçosa, MG, julho de 2008.

FELIPPE, M.; UMBELINO, G. Movimentos de massa e vegetação: o Sensoriamento Remoto como procedimento metodológico no estudo dos processos de vertente. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR), 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 5215-5218. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.23.39>>. Acesso em: 23 jul. 2014.

FELLENIOUS, W. **Calculation of Stability of Earth dams**. Trans. 2<sup>nd</sup> Congress in Large Dams, Washington, v.4, 445p. 1927.

FEPAM. **Bacia hidrográfica do Rio Caí**. Disponível em <<http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/cai> > Acesso em março de 2015.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. (Ed.). **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro. 1996. p.123-194.

FERNANDES, N. F.; GUIMARAES, R. F.; GOMES, R. A. T.; VIEIRA, B. C.; MONTGOMERY, D. R.; GREENBERG, H. Topographic controls of landslides in Rio de Janeiro: field evidence and modeling. **CATENA**, v. 55, n.2, p. 163-81, 2004.

FIGUEIRÓ, A. S. Diversidade geo-bio-sociocultural: a biogeografia em busca dos seus conceitos. **Revista Geonorte**, Edição Especial, V.4, N.4, p.57 – 77, 2012.

FURLAN, M. C.; LACRUZ, M. S. P.; SAUSEN, T. M. Vulnerabilidade socioeconômica à ocorrência de eventos extremos: proposta metodológica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15. (SBSR), 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p. 4540-4546. DVD,

Internet. ISBN 978-85-17-00056-0 (Internet), 978-85-17-00057-7 (DVD). Disponível em: <<http://urlib.net/3ERPFQRTRW/3A3P672>>. Acesso em: 15 março. 2015.

GÁLVEZ FLORES, J. H.; BRESSANI, L. A. Variação dos efeitos das quedas de rochas em seções rodoviárias por modificações na seção transversal e nos elementos de proteção. **Geotecnia** (Lisboa), v. 132, p. 1-23, 2014.

GEMITZI, A.; FALALAKIS, G.; ESKIOGLOU, P.; PETALAS, C. Evaluating landslide susceptibility using environmental factors, fuzzy membership functions and GIS. **Global NEST Journal**, v.13, n.1, p. 28-40, 2011.

GODOY, L. **Aplicação do modelo *Shalstab* no mapeamento de áreas suscetíveis à ocorrência de movimentos de massa, na bacia do Rio Marumbi, Serra do Mar, Paraná.** Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco-PR. 2015.

GOMES, G. J. C.; SOBREIRA, F. G.; CASTRO, J. M. G. Uso de técnicas de geoprocessamento no zoneamento de áreas de risco de escorregamento em Ouro Preto - MG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR), 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 2681-2688. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. Disponível em:<<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.15.17>>. Acesso em: 13 jun. 2014.

GOSTNER, W.; BEZZOLA, G.R.; SCHATZMANN, M.; MINOR, H. E. Water-related natural disasters: strategies to deal with debris flows: the case of Tschengls, Italy. In: Wiegandt, E. (Ed.) **Mountains: sources of water, sources of knowledge**. Dordrecht, Netherlands, Vol. 31. Cap. 14, p. 221-242, 2008.

GROHMANN, C.H.; RICCOMINI, C.; STEINER, S.S. - Aplicação de modelos de elevação SRTM em geomorfologia. **Revista de Geografia Acadêmica**, v.2 n. 2, p. 73-83, 2008.

GUZZETTI, F.; CARRARA, A.; CARDINALI, M.; REICHENBACH, P. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. **Geomorphology**, v. 31, n. 1-4, p. 181-216, 1999.

HAMMOND, C.; HALL, D. E.; MILLER, S.: AND SWETIK, P. **Level I Stability Analysis (LISA) Documentation for Version 2.0**: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Research Station; General Technical Report INT-285, Ogden, UT, 190 p. 1992.

HUNGR, O. Classification and terminology. In: M. Jakob; O. Hungr (Ed) **Debris-flow Hazards and related Phenomena**. Springer – Praxis Publishing Ltd, Chichester, UK, Cap. 2, 2005.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO; **Curso de treinamento de técnicos municipais para o mapeamento e gerenciamento de áreas urbanas com risco de escorregamentos e inundações**. Relatório Técnico 74186-205. São Paulo. 2004.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO; **Mapeamento e diagnóstico das áreas de risco associado a processos de instabilização do terreno nas encostas dos Morros de Arujá, SP**. Relatório Técnico 77889-205. São Paulo. 2005.

JANBU, N. Slope stability computations. **Embankment dam - engineering**. In: HIRSCH FIELD, E.; POULOS, S. (Ed.) Casa grande memorial, New York: Wiley, 1973. v.E, p.47– 86.

JENSON, S.K.; DOMINGUE, J. O. Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 54, n. 11, p. 1593-1600, 1988.

JORDAN, G.; SCHOTT, B. **Application of wavelet analysis to the study of spatial pattern of morphotectonic lineaments in digital terrain models. A case study.** Remote Sensing of the Environment 2005. 94, 31–38.

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

KANJI, M.A.; CRUZ, P.T.; MASSAD, F. Debris flow affecting the Cubatão oil refinery, Brazil. **Landslides**, 5, p. 71-82, 2008.

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.** Curitiba: Ed. Organic Trading , 2006. 109p. : il. ISBN – 85-87755-03-X.

LACERDA, W. A. **Landslide phenomena in southern Brazil.** In: Int. Symposium on Landslide Risk Mitigation and Protection of Cultural and Natural Heritage, 2002, Kyoto: Kyoto University, Proceedings, 2002. v. 1. p. 423-436.

LIMA, S. T.; SOUZA, J. B. **Geoprocessamento e análise ambiental: susceptibilidade a movimentos de massa.** In. XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física e Aplicada. 2009. Viçosa – Minas Gerais disponível em <[http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos\\_completos/eixo086.pdf](http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos_completos/eixo086.pdf)> Acesso em: 22 mai. 2015.

LISTO, F. L. R.; RAMOS, H. VIEIRA, B. C. **Uso dos modelos *Shalstab* e TRIGRS na previsão de escorregamentos translacionais rasos.** In: XI Simpósio Nacional de Geomorfologia. 2016. Maringá-PR. Disponível em: <http://www.sinageo.org.br/2016/trabalhos/2/2-349-440.html> Acesso em: 18 jun. 2017.

LUMB, P. The properties of decomposed granite. **Geotechnique**, vol. 12, nº 3, p. 226-243, 1962.

MAGALHÃES, F. S.; CORSI, A. C.; GRAMANI, M. F.; BARBOSA, T. T. A.; AUGUSTO FILHO, O. **Avaliação da potencialidade a movimentos de massa na Serra do Mar, entre São Sebastião-Cubatão, com vistas ao duto OSBAT**. In: IV COBRAE- Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas – Salvador – BA. 2015. Disponível em:< <https://www.abms.com.br/links/bibliotecavirtual/cobrae2005/2005-magalhaes-corsi.pdf>> Acesso em: 18 jun. 2017.

MAGESH, N. S.; CHANDRASEKAR, N.; KALIRAJ, S. **A GIS based automated extraction tool for the analyses of basin morphometry**. Bonfring International Journal of Industrial Engineering and Management Science. Vol2. Special Issue. July, 2012.

MANTOVANI, F.; SOETERS, R.; WESTEN, C. J. Remote sensing techniques for landslides studies and hazard zonation in Europe. **Geomorphology**, v.15, n.3-4, p. 213-225, 1996.

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

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

MASSAD, F.; KANJI, M. A.; CRUZ, P. T.; VEMARA, K.; ISHITANI, H. - **“Debris flows” em Cubatão, S. Paulo: obras de controle e impactos ambientais**”, XI COBRAMSEG, ABMS, Brasília, v.II, pp.1265-1272. 1998.

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

MICHEL, G. P.; KOBIYAMA, M.; GOERL, R. F. Análise Comparativa entre os modelos *Shalstab* e *Sinmap* na identificação de áreas suscetíveis a escorregamentos translacionais. In: X Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos. **Anais...** Foz do Iguaçu - PR. 2012.

MICHEL, G. P.; KOBIYAMA, M. **Histórico de ocorrência de fluxos de detritos e seus estudos no Brasil**. In: XI Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, João Pessoa/PB, 2014.

MINISTÉRIO DAS CIDADES, INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. **Mapeamento de riscos em encostas e margem de rios**. Org.: Celso Santos Carvalho, Eduardo Soares de Macedo, Agostinho Tadashi Ogura. Brasília: Min. das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007.

MORGENSTERN, N.R. & PRICE, V.E. The analysis of the stability of general slip surface. **Geotechnique** 15(1), 79-93. 1965.

MOTTA, R. S. **Climate change in Brazil: economic, social and regulatory aspects**. Brasília: IPEA, 2011.

MOTTA, H.P.G. **Avaliação de Corridas de Detritos para a Previsão de Eventos Futuros**. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2014. 254p. (tese de doutorado em Engenharia Civil)

NUNES, A. L. L. S. Convivência com Rupturas - Barreiras contra Quedas de Blocos. In: Conferência Brasileira de Encostas, 6, 2013, Angra dos Reis. **Anais...** 2013. p.41-73.



OKIDA, R. **Técnicas de Sensoriamento Remoto como subsídio ao zoneamento de áreas sujeitas a movimentos gravitacionais de massa e a inundações.** 1996. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

OLIVEIRA G.G. **Modelos para Previsão, espacialização e análise das áreas inundáveis na bacia hidrográfica do Rio Caí, RS.** Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

OLIVEIRA G. G.; GUASSELLI, L. A.; SALDANHA, D. L. Modelos de previsão e espacialização das áreas inundáveis em Montenegro, Rio Grande do Sul, Brasil, **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.13, n.4, p.355-378, 2012.

OLIVEIRA, M. T. **Estudo de movimentos de massa gravitacionais no município de Belo Horizonte, MG.** Tese de doutorado, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

Pack, R. T., D. G. Tarboton and C. N. Goodwin, "**Terrain Stability Mapping with SINMAP, technical description and users guide for version 1.00,**" Report Number 4114-0, Terratech Consulting Ltd., Salmon Arm, B.C., Canada, 1998.

PAZ, A. R.; COLLISCHONN, W. Derivação de rede de drenagem a partir de dados SRTM. **Revista Geográfica Acadêmica**, v.2, n.2, 2008. p. 84-95.

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

POZZER, C. T. **Aprendizado por Árvores de Decisão.** Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2006.

RAMOS, V. M.; GUIMARÃES, R. F.; CARVALHO JUNIOR; O. A.; REDIVO, A. L.; GOMES, R. A. T.; CARDOSO, F. B. F.; FERNANDES, N. F. Algorithm development for incorporating soil physical properties of each different soil class in a landslide prediction model (*Shalstab*). **Soil and Rocks**. ABMS/ABGE, v.30, n.3, 2007.

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

REVISTA DO PLANO CAÍ: **Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio Caí**, Porto Alegre, n.2, set., 2008.

RIEDEL, P. S.; FERREIRA, M. V.; GOMES, A. R. LOPES, E. S. S.; MERINO, E. R. **Análise Multitemporal de Cicatrizes de Escorregamento Baseado em Dados Multi Sensores**. In: I Semana de Geotecnologias, Rio Claro, SP, Brasil ISSN 1984 – 3208, Outubro de 2008. Disponível em: <<http://ceapla.rc.unesp.br/semageo/index.php/ceapla/geotec/paper/viewFile/6/15>> Acesso em: 16 maio 2014

RIFFEL, E.S. **Análise e mapeamento das ocorrências de movimentos de massa na bacia hidrográfica do rio Paranhana (RS)**. Porto Alegre, 114p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2012.

RIFFEL, E. S.; GUASSELLI, L. A. Ocorrência de movimentos de massa na bacia do rio Paranhana - RS. **Boletim Gaúcho de Geografia**, 39: 193-209, jul., 2012.

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

ROCHA, H. L. **Aplicação do modelo FLO-2D para simulação de fluxos de detritos na Bacia do Rio Cunha, Rio dos Cedros/SC**. Dissertação (mestrado)

- Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Florianópolis, 2011.

RODRIGUES, C. S. **Mapeamento de suscetibilidade a escorregamentos de Nova Friburgo-RJ por meio de inferência fuzzy e elaboração de cenários de alerta com uso do TerraMA<sup>2</sup>**. 2013. 135 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2013. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3EJD3FL>>

ROSA FILHO, A.; CORTEZ, A. T. C. Os deslizamentos de encostas nas favelas em áreas de risco da "Suíça brasileira": Campos do Jordão-SP. In: GERARDI, L. H. O.; FERREIRA, E. R. (Org.). **Saberes e Fazeres Geográficos**. Rio Claro: Unesp/Ageteo, 2009. p. 79-92.

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

ROSSATO, M. S. **Os Climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, tendências e tipologia**. Tese de Doutorado apresentado ao Programa de Pós-graduação em Geografia/IGEO/UFRGS, Porto Alegre: 2011.

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

SANTACANA, N. BAEZA, C. COROMINAS, J. PAZ, P.; MARTURIÁ, J. A GIS-Based Multivariate Statistical Analysis for Shallow Landslide Susceptibility Mapping in La Pobla de Lillet Area (Eastern Pyrenees, Spain). **Natural Hazard**, v. 30, n.3, p.282-295, 2003.

SANTOS, G.A. **Uso de barreiras flexíveis para controle de fluxo de detritos**. Rio de Janeiro. 2013 (TCC-UFRJ).

SANTOS, P.; LIMA, A. MOURA, R. **Cartografia de susceptibilidade de Movimentos de Massa em Canelas – Penafiel**. In: A importância do SIG na gestão dos recursos geológicos e mitigação dos riscos geológicos naturais e tecnológicos. 2008. Lisboa – Portugal. **Anais...** Disponível em: <[http://e-geo.ineti.pt/aipt\\_seminar/sig/posters/psantos.pdf](http://e-geo.ineti.pt/aipt_seminar/sig/posters/psantos.pdf)> Acesso em: 06 nov. 2014.

SANTOS, V. **Influência da escala no Mapeamento de Áreas Suscetíveis a Movimentos de Massa com o *Shalstab* na Microbacia do Ribeirão do Bau, Ilhota/SC**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis – SC. 2015.

SAUSEN, T. M. **Desastres naturais e geotecnologias - Sensoriamento Remoto - caderno didático nº 2**. Santa Maria: [s.n.] 2008. v. 2, 38 p. (INPE-15327-PUD/199).

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

SCHENKEL, J. C. **Mapeamento das áreas de risco de escorregamentos translacionais na bacia do Arroio Forromeco – RS**. Trabalho de Conclusão de curso em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre - RS. 2014.

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

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

SESTINI, M. F. **Variáveis geomorfológicas no estudo de deslizamento em Caraguatatuba - SP utilizando imagens TM-Landsat e SIG**. 1999. 140 p. (INPE-7511-TDI/724). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Jose dos Campos. 1999. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/deise/2000/04.27.16.25>>. Acesso em: 15 maio 2014.

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

SILVA, F. A. **Percepção Dos Riscos E Desastres Ambientais Dos Anos De 2008 E 2011 Em Jaraguá Do Sul – SC**. Mestrado Em Geografia Universidade Federal De Mato Grosso Do Sul. TRÊS LAGOAS – MS. 2014

SILVEIRA, R. M. **Comportamento Geotécnico de um Solo Coluvionar de São Vendelino (RS)** Doutorado em Engenharia Civil Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre-RS 2008

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

SILVEIRA, C.T.; FIORI, A.P.; MARCOS FERREIRA, A.; GÓIS, J.R.; MIO, G.; MICHAEL, R.; SILVEIRA, P.; MASSULINI, N.E.B.; LEONARDI, T.M.H. Emprego de atributos topográficos no mapeamento da susceptibilidade a processos geoambientais na bacia do rio Jacareí, Paraná. **Sociedade & Natureza**, v.25, n.3, p.623-639, 2013.

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

SPENCER, E. A Method of analysis of the Stability of Embankments Assuming Parallel Inter-Slice Forces. **Géotechnique** 1967 17:1, 11-26

STINY, J. **Die Muren**. Verlag der Wagner'schen Universitätsbuchhandlung, Innsbruck, 1910. [Debris Flows. (English translation by M. Jakob and N. Skermer, 1997, 106pp.), EBA Engineering Consultants, Vancouver, Canada.

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

TEIXEIRA, S. T.; SOUZA, J. B. **Geoprocessamento e análise ambiental: susceptibilidade a movimento de massas**. In: XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física e Aplicada. Universidade Federal de Viçosa. Disponível em: <[http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos\\_completos/eixo1/086.pdf](http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos_completos/eixo1/086.pdf)>. Acesso em: 12 maio 2014.

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

TOMLIN, D. **Geographic information systems and Cartographic Modeling**. Prentice Hall, New York, 1983.

TONUS, B. P. A. **Estabilidade de Taludes: Avaliação dos Métodos de Equilíbrio Limite aplicados a uma encosta coluvionar e residual da Serra do Mar Paranaense**. 2009. 149p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade Federal do Paraná Curitiba, 2009. Disponível em: <<http://www.ppgcc.ufpr.br/dissertacoes/d0116.pdf>>. Acesso em: 17 jun 2017.

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

TULER, M.O.; CALIJURI, M.L.; MARQUES, E.A.G. **Índice de Risco Geológico nas Unidades de Planejamento em Belo Horizonte, MG**. IV Congresso Luso-Brasileiro de Geotecnia. Porto, Portugal, 2008.

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

UN ISDR, 2011 **Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction: Revealing Risk, Redefining**. Development, available at <http://www.preventionweb.net/english/hyogo/gar/2011/en/home/index.html>

VALERIANO, M.M. - **Topodata: guia para utilização de dados geomorfológicos locais**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. INPE-15318-RPQ/818. São José dos Campos: INPE, 2008. 73 p. Disponível em: <mtc-m18.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc18@80/2008/07.11.19.24/doc/publicacao.pdf >. Acesso: 9.mar. 2014.

VAN DEN EECKHAUT, M.; VANWALLECHEM, T.; POESEN, J.; GOVERS, G.; VERSTRATEN, G.; VANDEKERCKHOVE, L. Prediction of landslide susceptibility using rare events logistic regression: a case-study in the Flemish Ardennes (Belgium). **Geomorphology**, v. 76, n. 3-4, p. 392-410, 2006.

VAN WESTEN, C. J.; SEIJMONSBERGEN, A. C.; MANTOVANI, F. Comparing landslide hazard maps. **Natural Hazards**, v. 20, n. 2-3, p. 137-158, 1999.

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

VANACÔR, R.N.; ROLIM, S.B.A. Mapeamento da susceptibilidade a deslizamentos usando técnicas de estatística bivariada e sistema de informações geográficas na região nordeste do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.13, n.1, p.15-28, 2012.

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

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

WITTEN, I. H.; FRANK, E.; HALL, M. A. (2011). “**Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques**”, 3rd edition, Morgan Kaufmann, Burlington, MA.

WOLLE, C. M. **Análise de escorregamentos translacionais numa região da Serra do Mar no contexto de uma classificação de mecanismos de instabilização de encostas.** São Paulo, 800 p. Tese (Doutorado em Engenharia - Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, 1988.

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

ZAMBRANO, F.C. BARRAGAN, M. L. M. **Caracterização Geológica da Bacia Hidrográfica do Arroio Forromeco.** Instituto de Pesquisas Hidráulicas IPT – Universidade Federal do Rio Grande do Sul –UFRGS, Porto Alegre - RS 2014.

ZNAMENSKY, D. Debris and mudflow initiation processes in Brazilian tropical and subtropical humid and mountainous environments. In: LACERDA, W.A.; PALMEIRA, E.M.; COELHO NETTO, A.L.; EHRLICH, M. (eds.) **Extreme rainfall induced landslides: an international perspective.** São Paulo: Oficina de Textos, 2014. p.103-127.



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