



## APLICAÇÃO DO SINMAP (STABILITY INDEX MAPPING) NA BACIA DO RIO CUNHA, RIO DOS CEDROS-SC, PARA PREVISÃO DE ÁREAS SUSCEPTÍVEIS A ESCORREGAMENTOS.

Gean Paulo Michel 1 - Bolsista PIBIC, Graduando do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina:

[gean\\_paulo@yahoo.com.br](mailto:gean_paulo@yahoo.com.br)

Roberto Fabris Goerl 2 - Bolsista CAPES/REUNI, Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Paraná.

[roberto.fabris@gmail.com](mailto:roberto.fabris@gmail.com)

Masato Kobiyama 3 - Bolsista do CNPq, Professor Associado II Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina.

[kobiyama@ens.ufsc.br](mailto:kobiyama@ens.ufsc.br)

**RESUMO:** Desastres naturais atingem cada vez mais comunidades expostas a condições susceptíveis. Os escorregamentos, dentre os desastres naturais, são caracterizados por colocarem em grande perigo os envolvidos. Em 2008, Santa Catarina foi muito afetada por este tipo de desastre, principalmente o Vale do Itajaí. Deste modo, se faz importante o uso de ferramentas, tais como modelos computacionais, para predizer áreas que oferecem maior propensão a ocorrência de escorregamento. O presente trabalho utilizou o modelo SINMAP para mapeamento da estabilidade da bacia do Rio Cunha, Rio dos Cedros – SC, sendo que os resultados obtidos pelo mapeamento coincidiram com o inventário de escorregamentos. A bacia apresentou, na maior parte de sua área, baixos índices de estabilidade sendo que os fatores geomorfológicos foram os que mais influenciaram nos resultados.

**Palavras-chave:** Escorregamentos, Rio dos Cedros (SC), SINMAP, Índice de estabilidade.

**ABSTRACT:** Natural disasters have increasingly affected on communities exposed to susceptible conditions. Landslides among the natural disasters, are characterized by exhibiting great hazard to the communities. In 2008, Santa Catarina was strongly affected by this type of disaster, especially the Itajaí Valley. Thus, it is important to use tools such as computational models to predict areas that offer larger propensity to landslide occurrence. The present study utilized the model SINMAP for mapping stability of Cunha river watershed, Rio dos Cedros - SC, and the results obtained by the SINMAP simulation coincided with the inventory of



landslides. This watershed had in the major part of its area the low stability index. The geomorphologic factors most strongly influenced on the simulation results.

Keywords: Landslide, Rio dos Cedros (SC), SINMAP, Stability Index.

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente está se passando por um período marcado pelo aumento da perda de vidas e dos danos associados a inundações, escorregamentos e outros tipos de catástrofes naturais. Este problema pode estar parcialmente ligado às mudanças climáticas, mas certamente está associado à propensão humana de construir em áreas susceptíveis a ocorrência de fenômenos naturais potencialmente danosos. Alcântara-Ayala (2002) comenta que, apesar dos desastres naturais ocorrerem no mundo inteiro, os seus maiores impactos ocorrem em países em desenvolvimento, devido a dois fatores: a localização geográfica e as características geológico-geomorfológicas. Para MacDonald (2003), nas últimas décadas ocorreu um aumento de cerca de dez vezes nos danos causados pelos desastres naturais, em virtude dos seguintes fatores: a) aumento das pessoas que ocupam áreas susceptíveis a perigos naturais em virtude do crescimento populacional; b) as condições econômicas das pessoas que ocupam estas áreas susceptíveis, implicando em construções com alto grau de vulnerabilidade.

O EM-DAT – The International Disaster Database é um banco de dados referente a desastres que ocorrem no mundo. Este banco classifica os desastres naturais em cinco principais grupos: Geofísico, Meteorológico, Hidrológico, Climatológico e Biológico. As inundações e escorregamentos úmidos (associados a chuvas) constituem os desastres hidrológicos.

Em novembro de 2008, diversos municípios de Santa Catarina, principalmente os localizados no Vale do Itajaí, sofreram com a ocorrência de inúmeros escorregamentos e inundações, especialmente as bruscas (enxurradas), reportado por diversos autores (Brasil, 2009; Pereira, 2009; Menezes, 2009;). A Fig. 1 apresenta os principais municípios atingidos por este evento de 2008, que solicitaram auxílio à Defesa Civil de Santa Catarina. Nota-se que 13 dos 23 municípios se encontram no Vale do Itajaí e os demais em outras regiões do estado. Nesta figura também é apresentado o número de escorregamentos avaliados pela equipes da defesa civil. Desatacando-se o município de Blumenau que historicamente era atingido por inundações, pode-se notar uma evolução no tipo de desastres de inundações para escorregamentos.

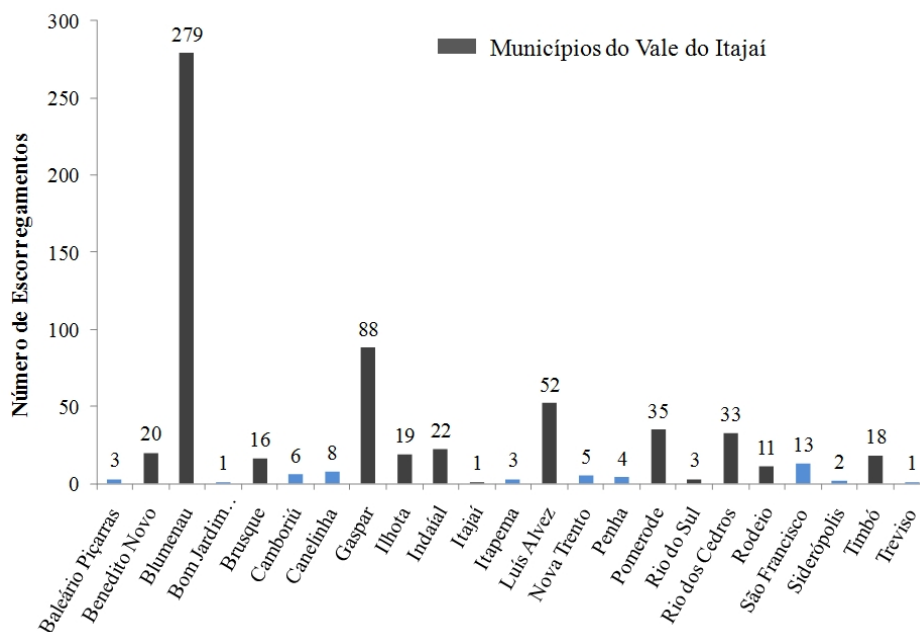


Neste contexto, com a finalidade de obter um bom gerenciamento de desastres hidrológicos, o presente trabalho apresenta uma alternativa para o mapeamento de áreas susceptíveis a escorregamentos, utilizando o Stability Index Mapping - SINMAP que é um modelo de estabilidade de encosta com ênfase nas características mecânicas e hidráulicas do solo.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. ÁREA DE ESTUDO.

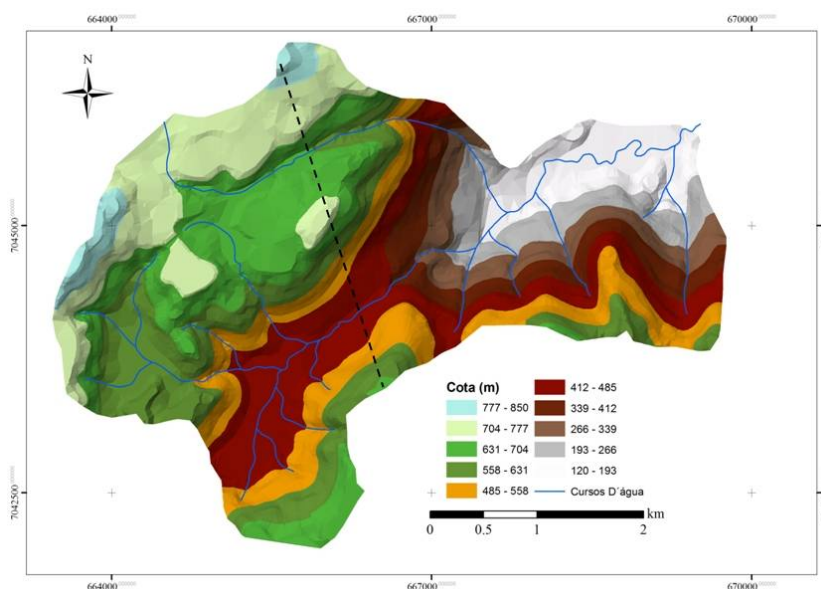
Rio dos Cedros – SC, localizado no Vale do Itajaí, foi um dos municípios severamente atingidos pelas intensas chuvas de novembro de 2008. Goerl et al. (2009) demonstraram que os escorregamentos foram os principais causadores dos danos em Rio dos Cedros nesta época, e entre os tipos de escorregamentos, os fluxos de detritos. Embora o modelo SINMAP se aplique apenas a escorregamentos translacionais rasos, o fluxo de detritos pode ser desencadeado por esse tipo de fenômeno, como demonstrado por Pellerin et al. (2006) que analisaram a ocorrência de um fluxo de detritos que se originou a partir da carga trazida pelos canais em consequência de múltiplos escorregamentos translacionais rasos. Dentre as bacias onde ocorreram escorregamentos no município de Rio dos Cedros, foi escolhida a bacia do rio Cunha para realizar estudos aprofundados sobre a dinâmica dos escorregamentos.



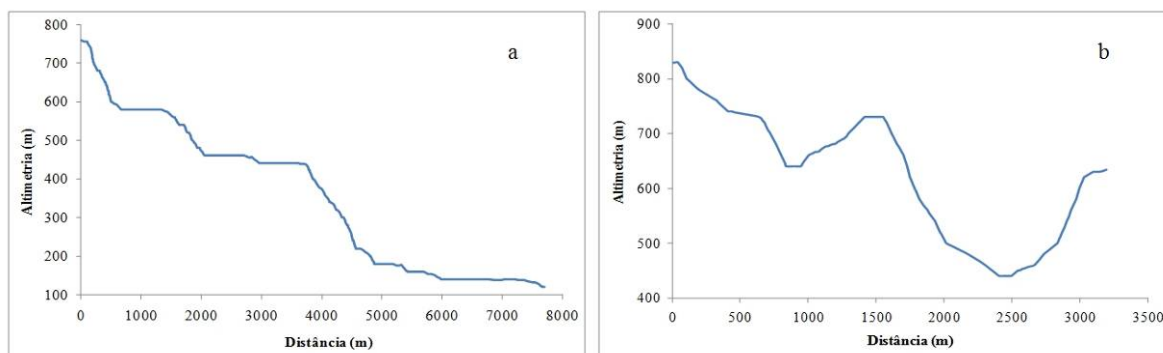
**Fig. 1 – Principais municípios que solicitaram auxílio da Defesa Estadual de SC e número de escorregamentos por município. (Modificado de Brasil, 2009).**



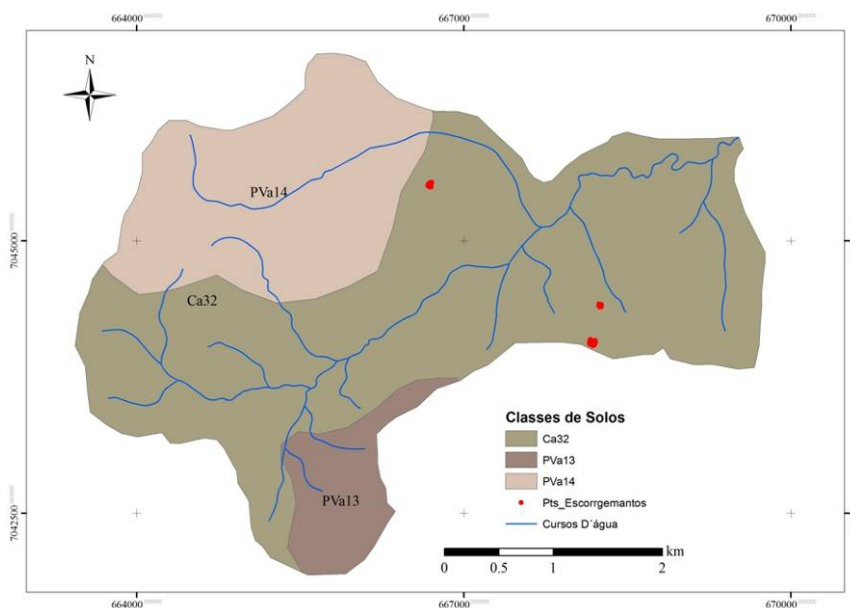
A bacia do rio Cunha possui a área de 16,35 km<sup>2</sup> e a altitude varia de 120 m a 860 m (Fig. 2). O rio Cunha apresenta a declividade média de 8%. Observando o perfil longitudinal do rio Cunha (Fig. 3a), vê-se que no alto curso há duas abruptas quedas, seguidas de dois patamares mais planos e, posteriormente em seu médio curso outra queda abrupta. Estas quebras abruptas estão associadas à presença de quedas d'água que foram observadas durante a coleta de dados em campo. Foi traçado um perfil transversal (Fig. 3b) no médio curso da bacia, onde vê-se que na porção norte encontram-se as terras mais altas, provavelmente associada a uma intrusão ígnea, que após a erosão originou um pequeno vale secundário. Já na porção sul e leste observa-se o vale principal, com altitudes mais baixas. Conforme o CPRM (2010) encontram-se na bacia Gnaisse (94% da área) e Folhelho (6% da área). Em relação a pedologia (Fig. 4) vê-se que os Cambissolos (Ca32) são predominantes na bacia, ocupando cerca de 65% da área total, associados principalmente ao relevo montanhoso. Nesta figura também são apresentados os pontos iniciais dos principais escorregamentos ocorridos na bacia.



**Fig. 2 – Modelo digital de terreno da bacia do rio Cunha.**



**Fig. 3 - Perfis topográficos da bacia do rio Cunha: a) longitudinal e b) transversal.**



**Fig. 4 – Classes de solos da bacia do rio Cunha e área inicial dos principais escorregamentos.**

## 2.2. DADOS TOPOGRÁFICOS, CLIMÁTICOS E PEDOLÓGICOS.

### 2.2.1. DADOS TOPOGRÁFICOS

Utilizou-se uma base cartográfica digital da bacia do rio Cunha na escala 1:50.000 disponibilizada pelo Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina - Epagri/Ciram no formato .shp. Através desta base, utilizando a ferramenta 3D Analyst do ArcGIS 9.3, gerou-se um modelo digital de terreno (MDT) em formato raster, com pixels de 10 m.

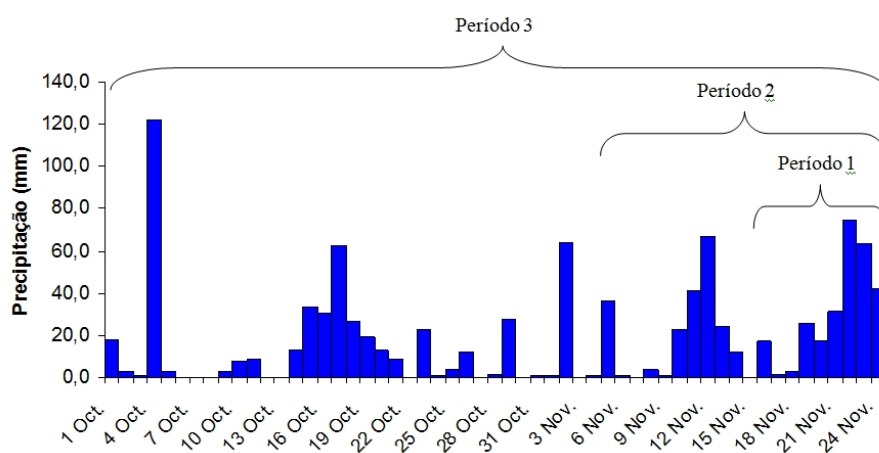
Utilizando o DGPS Trimble R3 e 5700 foi feito o inventário dos escorregamentos mais severos ocorridos na bacia do rio Cunha. Foram coletados pontos ao redor da área inicial de três escorregamentos que serviram para comparar os resultados obtidos através do modelo. Os dados coletados após o processamento apresentaram erro em X, Y e Z abaixo de 0,5 m.

### 2.2.2. DADOS CLIMÁTICOS

Um dos parâmetros utilizados na análise do índice de estabilidade é a precipitação, visto que a mesma é um dos seus principais fatores deflagradores. Goerl et al. (2009) e Kobiyama et al. (2010) demonstraram que as chuvas anômalas que ocorreram de outubro a novembro de 2008 foram as principais causadoras destes escorregamentos. Assim, no presente trabalho, foram escolhidos três períodos chuvosos, com o intuito de simular diferentes cenários. O primeiro e principal cenário com chuva contínua durante 9 dias



anteriores ao evento, ou seja, do dia 16 ao dia 24 de novembro, somando aproximadamente 274 mm; o segundo cenário tem seu período iniciado dez dias anteriormente ao primeiro, estendendo-se até o dia do evento, somando aproximadamente 447 mm de precipitação; e o terceiro cenário apresenta um período chuvoso que vai do início de outubro até o dia do evento, totalizando 990 mm precipitados. A Fig. 5 apresenta os dados de chuva utilizados para as simulações.



**Fig. 5 – Dados de chuva de outubro e novembro de 2008 em Rio dos Cedros – SC.**

### 2.2.3. DADOS PEDOLÓGICOS

Para obter as características pedológicas foram realizadas coletas de amostra de solo em campo. Como pode ser observado na Fig. 4, os três escorregamentos inventariados encontram-se na mesma classe de solo. Assim, por questões de logística, coletou-se 5 amostras de solo na área inicial do escorregamento situado mais ao norte.

A partir destas amostras foram determinados os parâmetros de entrada para o modelo SINMAP, através dos seguintes ensaios:

Ensaio de resistência do solo ao cisalhamento: Consiste em determinar, sob uma tensão normal, qual a tensão de cisalhamento capaz de provocar a ruptura de uma amostra de solo colocada dentro de uma caixa composta de duas partes deslocáveis entre si. Parâmetros: coesão e ângulo de atrito;

Ensaio de permeâmetro de carga variável: Neste tipo de ensaio impõem-se uma altura de coluna d'água à amostra de solo e através da abertura de um registro promove-se a percolação do fluido. Ao final de um certo intervalo de tempo, mede-se a variação na altura da coluna d'água, obtendo assim a condutividade hidráulica saturada do solo através da lei de Darcy. Parâmetros: transmissividade do solo.



### 2.3. SINMAP

O SINMAP é um modelo para mapeamento de índices de estabilidade em encostas, capaz de detectar áreas susceptíveis a escorregamentos translacionais rasos. Ele traz avanços recentemente obtidos nas pesquisas relacionadas com hidrologia de encosta, o conceito de estado hidrológico uniforme (steady-state) e o clássico modelo de vertente infinita para determinação de estabilidade (PACK et al., 1998). Entre os avanços considerados pelo modelo destaca-se a utilização do conceito de área variável de afluência para estimativa da umidade do solo. Além disso, o SINMAP considera a coesão do solo e o efeito das raízes, incorporando ainda componentes de incerteza associados à variação temporal e espacial dos parâmetros.

A metodologia utilizada no SINMAP é baseada no modelo de estabilidade de vertente infinita, que compara os componentes desestabilizadores da gravidade e os componentes restauradores do atrito e da coesão num plano falho paralelo à superfície do terreno, desprezando-se os efeitos das margens. A pressão dos poros devido à umidade do solo reduz a tensão normal efetiva, a qual através do ângulo de atrito é relacionada com a força cortante. A pressão dos poros exercida pela água é obtida supondo-se estados uniformes (steady-state), considerando-se que a proporção de solo saturado é suficiente para manter o escoamento lateral proporcional ao índice geomorfológico (área de drenagem por unidade de comprimento de contorno). Através do MDT são obtidas as variáveis topográficas, declividade e índice geomorfológico. A qualidade destas informações depende da escala do mapeamento básico utilizado.

O SINMAP faz a classificação da estabilidade do terreno com base na variação espacial da declividade e do índice geomorfológico, e de outros parâmetros ligados às características climáticas e pedológicas. O conjunto de parâmetros ligados ao solo e à precipitação possui uma série de incertezas associadas, relacionadas tanto aos métodos de determinação quanto à variabilidade espacial e necessidade de regionalização dos valores dos parâmetros. Por isso, o modelo trabalha em termos de limites máximos e mínimos para estes parâmetros.

Dessa maneira, o índice de estabilidade (SI) é definido como a probabilidade de uma região ser estável, assumindo distribuições uniformes de parâmetros sobre esses intervalos de incerteza. Normalmente os valores de SI podem variar entre 0 (mais instável) e 1 (menos instável). No entanto, em locais onde adota-se parâmetros mais conservadores (no sentido de favorecer a desestabilização) e ainda assim resultar em estabilidade, o SI assumirá valores



superiores a unidade (1) quando considerados os valores médios dos parâmetros, como pode ser observado na Tab. 1.

Tabela 1 – Definição das classes de estabilidade.

Índice de Estabilidade	Classe	Classes de Estabilidade	Intervalo dos Parâmetros	Possível influência de fatores não modelados
$SI > 1,5$	1	Estável	Instabilidade não prevista	São necessários fatores desestabilizantes significativos para gerar instabilidade
$1,5 > SI > 1,25$	2	Estabilidade moderada	Instabilidade não prevista	São necessários fatores desestabilizantes moderados para gerar instabilidade
$1,25 > SI > 1,0$	3	Estabilidade baixa	Instabilidade não prevista	São necessários fatores desestabilizantes mínimos para gerar instabilidade
$1,0 > SI > 0,5$	4	Limiar inferior de instabilidade	Combinação pessimista prevê instabilidade	Fatores desestabilizantes não são necessários para gerar instabilidade
$0,5 > SI > 0,0$	5	Limiar superior de instabilidade	Combinação otimista prevê estabilidade	Fatores estabilizantes podem gerar estabilidade
$0,0 > SI$	6	Instável	Estabilidade não prevista	Fatores estabilizadores são necessários para gerar estabilidade

### 2.3.1. EQUAÇÕES GOVERNANTES

Hammond et al. (1992) propuseram o fator de segurança, FS, do modelo de estabilidade de vertente infinita:

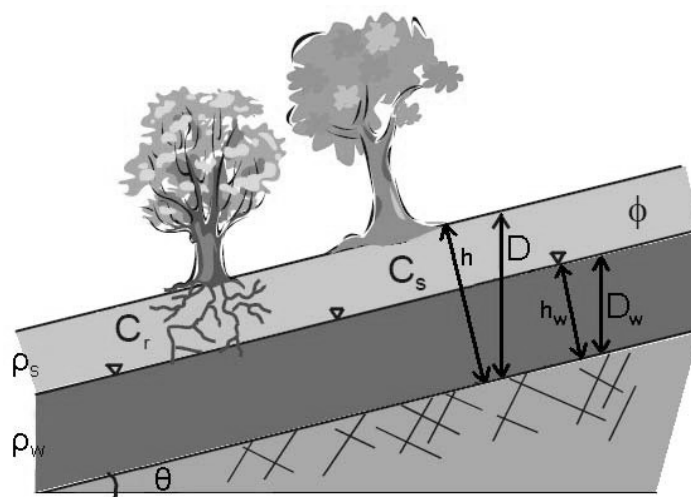




$$FS = \frac{C_r + C_s(1) \cos^2 \theta \cdot [\rho_s g (D - D_w) + (\rho_s g - \rho_w g) D_w] \cdot \tan \phi}{D \rho_s g \sin \theta \cdot \cos \theta}$$

onde  $C_r$  é a coesão das raízes [N/m<sup>2</sup>];  $C_s$  é a coesão do solo [N/m<sup>2</sup>];  $\theta$  é a inclinação da vertente [graus];  $\rho_s$  é a densidade do solo úmido [kg/m<sup>3</sup>];  $\rho_w$  é a densidade da água [kg/m<sup>3</sup>],  $g$  é a aceleração da gravidade [m/s<sup>2</sup>],  $D$  é a altura vertical do solo [m],  $D_w$  é a altura da camada de água dentro da camada de solo [m]; e  $\phi$  [graus] é o ângulo de atrito interno do solo (Fig. 6).

O modelo segue algumas hipóteses tais como: (i) O fluxo lateral subsuperficial segue os gradientes topográficos; (ii) A descarga lateral em cada ponto está em equilíbrio com o estado uniforme de recarga  $R$  [m/hr]; (iii) A capacidade de descarga lateral em cada ponto é dada por  $T \sin \theta$ , sendo  $T$  a transmissividade do solo (condutividade hidráulica multiplicada pela espessura do solo) [m<sup>2</sup>/hr].



**Fig. 6 - Modelo de estabilidade de vertente infinita (Fonte: Witt, 2005)**

Diferentemente do TOPMODEL (Beven e Kirkby, 1979), não se assume que a condutividade hidráulica diminua com a profundidade. A condutividade hidráulica é considerada constante para toda camada de solo acima da rocha impermeável. Além disso, usa-se seno em lugar da tangente por que a distância de fluxo está de fato ao longo do declive. A diferença entre tangente e seno, insignificante para ângulos pequenos, pode dar origem a escorregamentos em altas declividades. Então, através da hipótese (iii) pode-se escrever a umidade relativa como:

$$w = \text{Min} \left( \frac{R}{T \sin \theta}, 1 \right) \quad (2)$$



onde  $a$  é a área de contribuição específica que é área de contribuição a montante por unidade de contorno. A umidade relativa representa a altura relativa do nível da água em relação a altura da camada de solo. O modelo adota o maior valor de umidade relativa igual a um, sendo que valores maiores que um resultam em escoamento superficial.

A relação  $R/T$  quantifica a umidade relativa em termos do estado de recarga uniforme, assumido em relação a capacidade do solo para escoamento da água. Apesar do termo ‘estados uniformes (steady-state)’ ser usado para determinar o fluxo lateral, o valor de  $R$  não representa a média de recarga de longos períodos (anual, por exemplo). Pelo contrário, é a recarga efetiva, para um período crítico de clima úmido, capaz de desencadear deslizamentos de terra. O valor de  $(T/R)\sin\theta$  [m] pode ser entendido como o comprimento de uma vertente (plana, não convergente) requerido para desenvolver saturação em períodos chuvosos.

Substituindo a equação (2) na equação (1), tem-se a formulação final adotada pelo SINMAP:

$$FS = \frac{C + \cos\theta \cdot [1 - \text{Min}\left(\frac{R}{T} \frac{a}{\sin\theta}, 1\right) \cdot r] \cdot \tan\phi}{\sin\theta} \quad (3)$$

Os valores de  $\theta$ ,  $\phi$  e  $a$  são definidos automaticamente pelo MDT enquanto que a coesão

adimensional  $C$  ( $= \rho_s \cdot g \cdot h$ ),  $R$ ,  $T$ ,  $\phi$  e  $\theta$  são baseados em dados de chuva e nas características mecânicas e hidráulicas do solo.

#### 2.4. DADOS DE ENTRADA.

Para o parâmetro  $R$  foram utilizados os acumulados de três períodos chuvosos de 9, 19 e 55 dias antecedentes ao dia do evento. Os demais valores de entrada foram obtidos através dos ensaios descritos no item 2.2.3. A Tab. 2 apresenta os parâmetros, a unidade de medida bem como os valores utilizados no presente trabalho.

Tab. 2 – Valores utilizados para os dados de entrada

Parâmetro	Valor			Unidade
	1	2	3	
Cenário				
T/R - fronteira inferior	85	110	140	metro
T/R - fronteira superior	1430	1850	2420	metro
C - fronteira inferior	0,02			adimensional
C - fronteira superior	0,07			adimensional
$\phi$ - Fronteira Inferior	25			graus
$\phi$ - Fronteira superior	30			graus
$\rho_s$	1788,5			kg/m <sup>3</sup>



### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram simulados três cenários distintos, mantendo-se os parâmetros pedológicos e topográficos e variando-se os fatores climáticos. Com a mudança em R, pretendia-se estimar a taxa de recarga necessária para desencadear os escorregamentos ocorridos na região. Ainda assim, dentro de cada cenário, foi feita uma única região de calibração, ou seja, as faixas de valores foram consideradas constantes para toda a bacia.

Ao processar os dados da bacia, o modelo gerou uma série de mapas tais como: direção do fluxo, declividade, área de contribuição, saturação e índice de estabilidade. Alguns destes mapas estão representados na Fig. 7. Os pontos de escorregamento inseridos no MDT constituíram um inventário de escorregamentos. Para avaliar a resposta do modelo as condições estabelecidas, após o processamento dos dados, o programa gerou um gráfico, declividade vs área de contribuição, com linhas representando as fronteiras do índice de estabilidade. Os pontos de escorregamento também foram inseridos neste gráfico, melhorando assim a visualização dos resultados.

A Fig. 7b mostra que os valores para a área de contribuição aumentam em locais onde a geomorfologia é côncava, pois este tipo de relevo tende a unir linhas de fluxo menores formando um canal principal. Em uma mesma linha de fluxo, pontos a jusante tendem a ter maiores valores para a área de contribuição, já que englobam o valor do fluxo a montante mais a sua própria contribuição.

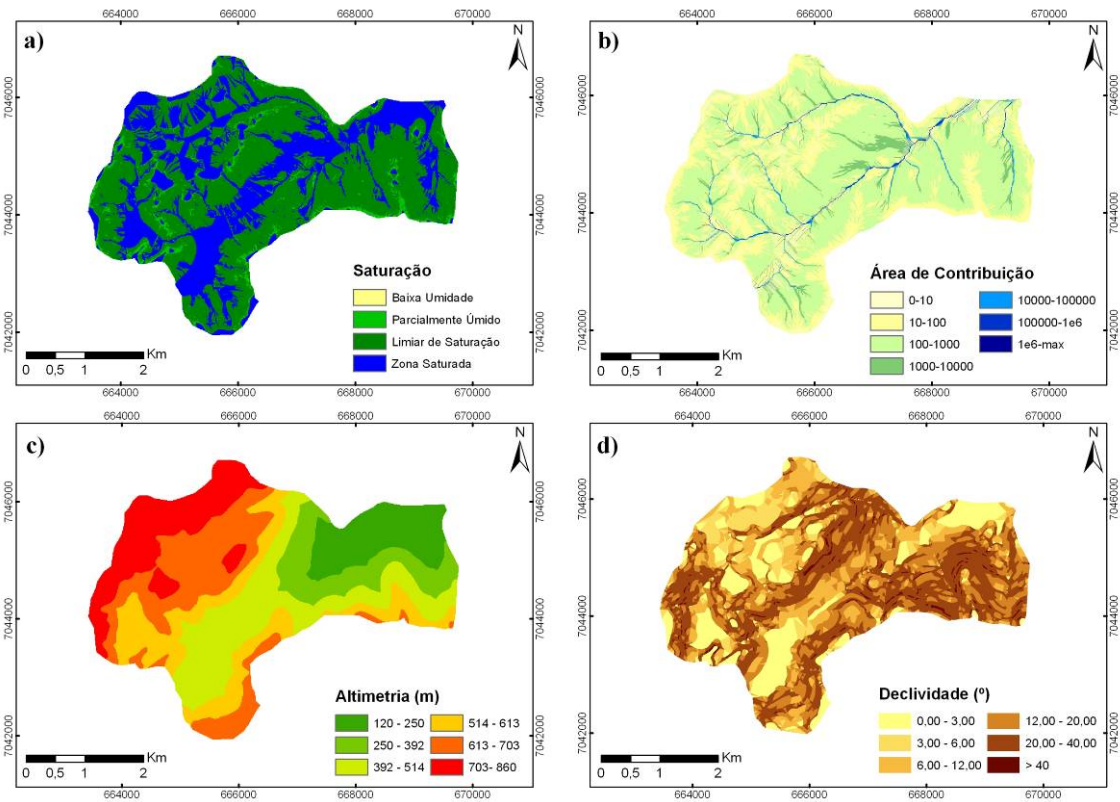
Há também uma forte associação entre áreas planas e áreas saturadas (Fig. 7(a) e (d)). Isto mostra que regiões com altas declividades dificilmente ficarão saturadas, já que a inclinação do terreno contribui para o escoamento da água. Também observa-se que imediatamente abaixo dos patamares de saturação ocorrem zonas de menor umidade, devido a propriedade de retenção da água das zonas planas. No mapa de saturação percebe-se que, assim como na área de contribuição, regiões côncavas apresentam pixels com valores elevados, pois a água tende a se concentrar nestas áreas.

Na simulação do primeiro cenário podemos notar que o modelo designou áreas instáveis para toda extensão altimétrica, sendo que a instabilidade ( $SI = 0$ ) ocorre principalmente em áreas com maior declividade (Fig. 7 e Fig. 8). Portanto, constata-se que para o modelo, a declividade da encosta tem grande representatividade na caracterização da classe de estabilidade do pixel.

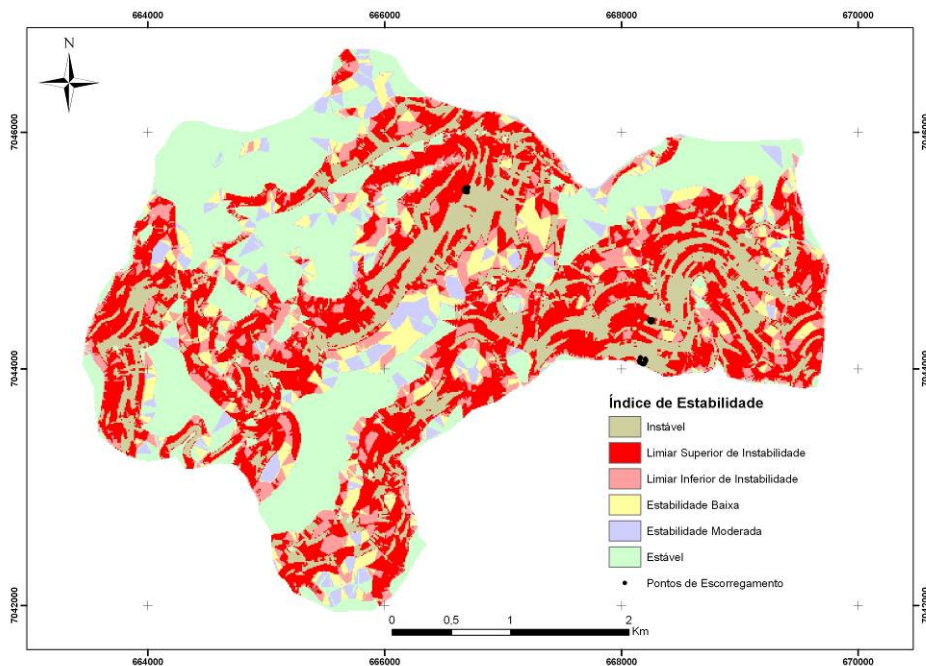
Ainda neste mesmo cenário, todos os pontos do inventário dos escorregamentos de novembro de 2008 inseridos encaixaram-se nas duas classes de maior instabilidade ( $0,5 > SI$ ), isto pode



ser facilmente verificado analisando-se a Tab. 3 e Fig. 9. Para os outros cenários, os pontos do inventário também coincidiram com as duas classes mais instáveis, sendo que em todos eles a classe de estabilidade com maior número de pontos foi o Limiar Superior de Instabilidade.



**Fig. 7 – Mapas de caracterização da bacia: a) saturação do solo, b) área de contribuição, c) altimetria, e d) declividade.**



**Fig. 8 – Mapa do índice de estabilidade para o Cenário 1.**



Tabela 3 – Análise estatística dos resultados do Cenário 1

	Estável	Estabilidade e moderada	Estabilidade e baixa	Limiar inferior de instabilidade	Limiar superior de instabilidade	Instável
Área (km <sup>2</sup> )	4,48	0,84	1,34	1,82	5,27	2,33
% da Região	27,86	5,24	8,35	11,3	32,76	14,49
% de Pontos do Escorregamento	-	-	-	-	61	39

Comparando os três cenários simulados, não houve grande variação nos resultados. Contudo, dentro das variações ocorridas, taxas de recarga maiores geraram maiores porcentagens de áreas instáveis, portanto a incidência de pontos de escorregamento na zona instável ocorreu de forma mais intensa no Cenário 1. Em todas as simulações a maior parte da área da bacia apresentou índices baixos de estabilidade e mesmo aumentando o período observado, o que gera valores menores para a taxa de recarga, cerca de metade da área da bacia enquadrou-se nas duas classes de maior instabilidade (Tab. 4). As classes que apresentam menores índices de estabilidade podem ser consideradas as áreas susceptíveis a movimentos de massa.

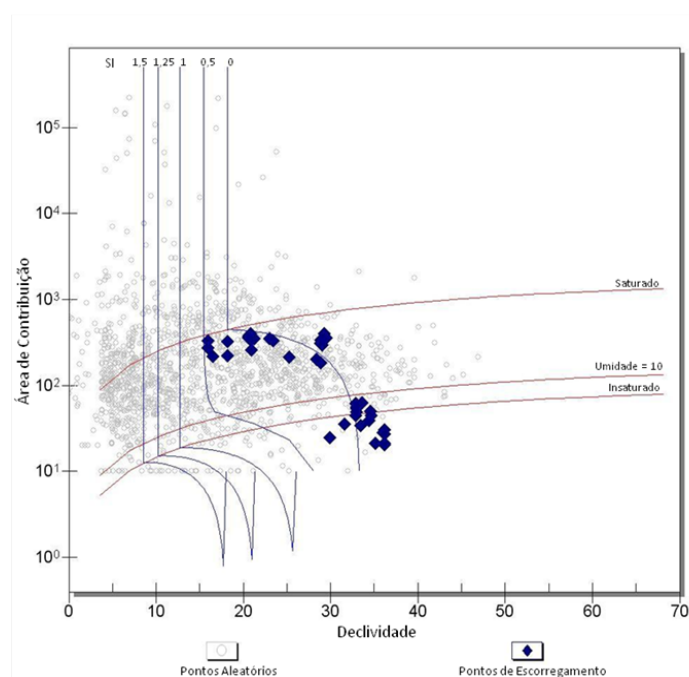


Fig. 9 – Gráfico área de Contribuição vs Declividade



Tab. 4 – Comparação dos resultados para os três cenários

Cenário	Área (km <sup>2</sup> )			% da Região			% de Pontos do Escorregamento		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Estável	4,48	4,51	4,56	27,86	28,05	28,34	-	-	-
Estabilidade moderada	0,84	0,85	0,88	5,24	5,28	5,44	-	-	-
Estabilidade baixa	1,34	1,39	1,40	8,35	8,61	8,71	-	-	-
Limiar inferior de instabilidade	1,82	1,95	2,13	11,30	12,10	13,21	-	-	-
Limiar superior de instabilidade	5,27	5,42	5,42	32,76	33,66	33,66	61	62	74,5
Instável	2,33	1,98	1,71	14,49	12,30	10,64	39	38	25,5

#### 4. CONCLUSÕES

A geomorfologia da encosta determinará a declividade de cada região e irá reger as linhas de fluxo que, por conseguinte, determinarão a área de contribuição e grau de saturação. Desta maneira, para regiões com características pedológicas semelhantes, a geomorfologia da encosta é a maior responsável pela determinação do índice de estabilidade.

Regiões planas apresentam grau de saturação muito maior que regiões declivosas, pois a ausência de inclinação alonga o escoamento da água. Desta maneira há um efeito compensatório neste fenômeno, pois em locais onde a declividade é elevada e o índice de estabilidade tende a ser mínimo, a saturação geralmente é menor, o que diminui o efeito de poro-pressão e compensa a redução do índice de estabilidade.

O SINMAP apresentou uma boa resposta as condições impostas, visto que, para as três circunstâncias descritas, a maioria dos pontos (Cenário 1: 61%; Cenário 2: 62%; e cenário 3: 74,5%) do inventário de escorregamentos incidiu na classe Limiar superior de instabilidade, sendo o restante dos pontos (Cenário 1: 39%; Cenário 2: 38%; e Cenário 3: 25,5%) enquadrado na classe Instável. Portanto, todos os pontos de escorregamento inventariados incidiram nas duas classes de maior instabilidade.

A variação da taxa de recarga não gerou grandes alterações nos resultados. Deste modo a intenção de identificar o período chuvoso responsável pelos escorregamentos de novembro de



2008 ficou prejudicada. Porém, pelas características físicas do solo, fica evidenciado que esta bacia tem alta susceptibilidade a movimentos de massa quando submetida a determinados períodos chuvosos.

A bacia do Rio Cunha apresentou, para todos os cenários simulados, a maior parte de sua área sobre regiões instáveis. Por isso a população local está constantemente exposta a riscos eminentes, o que leva a crer que um plano de ação para instruir os moradores a agir corretamente em situações de ocorrência de escorregamentos em áreas habitadas se faz necessário.

## 5. REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA-AYALA, I. (2002) Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. *Geomorphology*, v. 47, p. 107–124.

BEVEN, K. J. & M. J. KIRKBY, (1979), "A Physically Based Variable Contributing Area Model of Basin Hydrology," *Hydrological Sciences Bulletin*, 24(1): 43-69.

BRASIL. Resposta ao desastre em Santa Catarina no ano de 2008: avaliação das áreas atingidas por movimentos de massa e dos danos em edificações durante o desastre. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. Florianópolis: CEPED, 2009. 46p.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Mapa Geológico do Brasil. Disponível em: <http://geobank.sa.cprm.gov.br/>, acesso em Fev. de 2010.

GOERL, R. F.; KOBİYAMA, M.; CORREA, G. P.; ROCHA, H. L.; GIGLIO, J. N. Desastre hidrológico resultante das chuvas intensas em Rio dos Cedros – SC. In XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Campo Grande: ABRH, Anais, 2009. CD-rom. 19p.

PELLERIN, J. R. G. M. ; [KOBİYAMA, MASATO](#) ; GOERL, ROBERTO FABRIS ; MARCELINO, EMERSON VIEIRA ; LYRA, L. G. . Desastres naturais causados pela chuva intensa no dia 16 de novembro de 2005, no município de Vidal Ramos-SC, Brasil. In: VI Simpósio Nacional de Geomorfologia/ Regional Conference on Geomorphology, 2006,



Goiânia. Geomorfologia tropical e subtropical: processos, métodos e técnicas. Goiania, 2006. p. 109-109.

HAMMOND, C., D. HALL, S. MILLER AND P. SWETIK, (1992). Level I Stability Analysis (LISA) Documentation for Version 2.0. General Technical Report INT-285, USDA Forest Service Intermountain Research Station.

KOBIYAMA, M.; GOERL, R. F.; CORREA, G. P; MICHEL, G. P. Debris flow occurrences in Rio dos Cedros, Southern Brazil: meteorologic and geomorphic aspects. In: Monitoring, Simulation, Prevention and Remediation of Dense and Debris Flow III. Wrachien, D.; Brebbia, C. A. (eds). WIT Press: Southampton, 2010, p. 77 – 88

MACDONALD, R. Introduction to Natural and Man-made Disasters and their Effects on Buildings. Oxford: Elsevier. 2003. 257p.

MENEZES, J.G. R. A tragédia do Morro do Baú. Blumenau: Nova Terra, 2009. 438p.

PACK, R. T., TARBOTON, D. G.; GOODWIN, C. N. (1998). 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 ([www.tclbc.com](http://www.tclbc.com)).

PEREIRA, M. Ilhota, 23 de Novembro de 2008: diário de uma tragédia. Blumenau: HB, 2009. 272p.

WITT, A.C. (2005). Using a GIS (geographic information system) to model slope instability and debris flow hazards in the French Broad River watershed, North Carolina. Master Degree Thesis. North Carolina State University.



This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.  
This page will not be added after purchasing Win2PDF.