

Análise do índice de estabilidade de encostas a partir do modelo SINMAP e de dados pluviométricos obtidos por satélite: estudo de caso para o mega desastre de janeiro de 2011 no município de Nova Friburgo-RJ

Elias Ribeiro de Arruda Junior¹
Eymar Silva Sampaio Lopes²
Vinicius Campanha²

¹ Universidade Federal Fluminense - UFF
Avenida Litorânea, s/n - Boa Viagem, CEP-24030-346, Niterói RJ - Brasil
eliasarrudajr@yahoo.com.br

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
eymar@dpi.inpe.br, vinicampa@gmail.com

Abstract. This study aimed to contribute to reducing the human, social and economic impacts caused by natural disasters in Brazil, such as landslides triggered by heavy summer rains in mountainous regions. Especially in the state of Rio de Janeiro, marked by the mega-disaster occurred at January 2011. The current study developed and calibrated the SINMAP model to predict areas susceptible to shallow landslides using the platform for monitoring, analyzing and alert to environmental extremes (TerraMA2). The geoenvironmental input rainfall data was updated in real time and had been adapted to model. The model was validated using real inventory data raised scars of landslides in Nova Friburgo, Rio de Janeiro. The results of this study were: a routine implemented in the LUA language and calibrated in the TerraMA2 environment for prediction of susceptible areas of landslide using the mathematical model SINMAP; the landslide susceptibility maps generated for each new entry data in the system during the period of the study; and the risk maps generated from each landslide susceptibility map. The validation of the results showed a better performance of the maps generated in TerraMA2 platform compared to the original package and pointed out the possibility of improve the results from input data of better quality. Further this study showed the capability of the system to become operational in forecasting and monitoring landslides in the study area and also in other mountainous regions of Brazil.

Palavras-chave: natural hazard, geotechnologys, extreme environmental events, TerraMA2.

1. Introdução

Os movimentos de massa, em especial os escorregamentos, vêm recebendo grande atenção da comunidade científica nas últimas décadas, face aos problemas de grande magnitude causados por esses eventos e agravados pelas ocorrências em locais com crescente ocupação humana, portanto transformados em áreas de risco potencial. O evento da Região Serrana no Rio (11 e 12 janeiro de 2011): um mega-desastre ocorrido na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro deflagrado por eventos pluviométricos extremos foi classificado como a maior catástrofe natural já ocorrida no país e está entre uma das dez maiores ocorridas no mundo. O desastre deixou sete municípios em situação de calamidade pública, os quais contabilizaram 889 óbitos, 13.741 desabrigados e 22.496 desalojados segundo dados da defesa civil até dia 10 de fevereiro de 2011, totalizando mais de 35.000 atingidos (MS, 2011). A cidade de Nova Friburgo foi a mais atingida e com mais óbitos (428), justamente aonde as medidas da estação pluviométrica chegou a 271,5mm em 24 horas (MEDEIROS e BARROS, 2011). A preparação para desastres naturais é um fator chave na redução do seu impacto na sociedade. Dessa forma, recentes iniciativas internacionais estão promovendo o desenvolvimento de uma cultura de prevenção de riscos e promoção de sistemas de alerta precoce. A previsão de áreas susceptíveis a escorregamentos vem sendo amplamente estudada, resultando em diferentes métodos, para diferentes escalas e ambientes. Vários autores vêm avaliando o papel dos fatores deflagradores (LI et al., 2011; PERUCCACCI et al., 2012; MONDINI et al., 2011; ARNONE et al., 2011; RUETTE et al., 2011; BITTELLI et

al., 2012, entre muitos outros), a influência de fatores externos, tais como mudanças no uso e cobertura da terra (MUGAGGA et al., 2012; GLADE, 2003; GARCÍA-RUIZ et al., 2010; BEGUERÍA, 2006; DE VITA et al., 2012 etc.) e influência das mudanças climáticas (CHIANG & CHANG, 2011; CROZIER, 2010; JAKOB & LAMBERT, 2009; COLLISON et al., 2000; SANCHEZ, 2010 etc.), responsáveis, geralmente, pela alteração da dinâmica hidrológica e da resistência dos solos e conseqüentemente aumento da instabilidade das encostas.

O Brasil revelou-se frágil tanto para prever com antecedência, quanto para a tomada de medidas eficazes para minimizar os danos pouco tempo antes da ocorrência dos extremos ambientais, especialmente no Estado do Rio de Janeiro. A partir daí, surge um novo cenário de investigação, aberto pela necessidade de minimizar os impactos, tanto humanos e ambientais, quanto sociais e econômicos, causados pelos eventos extremos relatados no Brasil. Assim o presente trabalho vem contribuir para o aperfeiçoamento dos métodos de previsão de áreas suscetíveis a escorregamentos translacionais rasos – predominantes na região serrana do Estado do Rio de Janeiro - através da implementação e calibração do modelo matemático SINMAP na plataforma TerraMA2.

A área escolhida como piloto para essa investigação foi o município de Nova Friburgo-RJ, por ter sido o município mais atingido pelos extremos ambientais deflagrados pelas fortes chuvas de janeiro de 2011, conforme Figura 1.

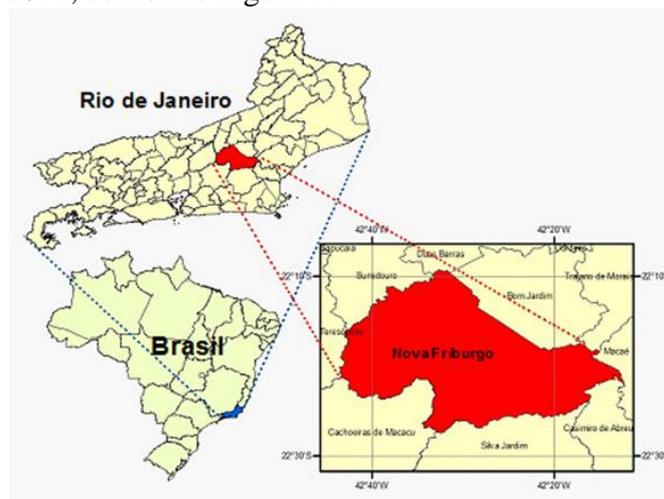


Figura 1 - Área de estudo - Município de Nova Friburgo-RJ.

2. Metodologia de Trabalho

Para alimentar a plataforma TerraMA2, os dados são divididos basicamente em dois grupos, dados dinâmicos e estáticos. Os dados dinâmicos são aqueles consultados pelo sistema em servidores conectados via internet e que fornecem tais dados de forma contínua e em tempo real (ex.: dados de chuva no formato binário do CPTEC-INPE). Já os dados estáticos são consultados através da base de dados montada localmente, adquiridos conforme o item material, devidamente descrito anteriormente.

A base cartográfica contendo os dados estáticos para a referida investigação foi compilada e organizada em um banco de dados georreferenciado no ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG) do TerraView, do qual foram extraídos os dados básicos para as análises executadas na referida plataforma.

O SINMAP (*Stability Index MAPping*) é um modelo estocástico para mapeamento de índices de estabilidade em encostas que utiliza o conceito do clássico modelo de estabilidade de talude infinito combinado com o modelo hidrológico de estado sólido para determinação de estabilidade (PACK et al., 2005). Pode ser utilizado através de um pacote gratuito obtido no sítio eletrônico da Universidade do Estado de Utah (<http://hydrology.usu.edu/sinmap/>).

O SINMAP foi implementado e adaptado na plataforma TerraMA2, através da linguagem de programação LUA (LUA, 2012), a partir do código fonte disponível no site oficial do SINMAP (SINMAP, 2012).

O Índice de Estabilidade SI, do inglês *Stability Index* é definido como a probabilidade de uma região ser estável, assumindo distribuições uniformes de parâmetros sobre esses intervalos de incerteza. As classes de estabilidade do SINMAP são mostradas na Tabela 1.

Tabela 1 - Classes de estabilidade do SINMAP.

SI - Índice de Estabilidade	Classe	Classes de Estabilidade	Intervalo dos Parâmetros	Possível influência de fatores não modelados
SI > 1,5	1	Incondicionalmente Estável	Faixa não pode modelar instabilidade	São necessários fatores desestabilizantes significativos para gerar instabilidade
1,5 > SI > 1,25	2	Estabilidade moderada	Faixa não pode modelar instabilidade	São necessários fatores desestabilizantes moderados para gerar instabilidade
1,25 > SI > 1,0	3	Quase estável	Faixa não pode modelar instabilidade	São necessários fatores desestabilizantes mínimos para gerar instabilidade
1,0 > SI > 0,5	4	Limiar inferior de instabilidade	Metade do intervalo pessimista necessário para instabilidade	Fatores desestabilizantes não são necessários para gerar instabilidade
0,5 > SI > 0,0	5	Limiar superior de instabilidade	Metade do intervalo otimista necessário para estabilidade	Fatores estabilizantes podem gerar estabilidade
0,0 > SI	6	Incondicionalmente Instável	Faixa não pode modelar estabilidade	Fatores estabilizadores são necessários para gerar estabilidade

Fonte: Pack et al. (2005).

O Fator de Segurança já com os modelos de estabilidade e hidrológico devidamente acoplados encontra-se expresso na Equação 1 (PACK *et al.*, 2005).

$$FS = \frac{c + \cos \beta \left[1 - \text{Min} \left(\frac{R}{T} * \frac{a}{\text{sen} \beta}, 1 \right) * r \right] \tan \emptyset}{\text{sen} \beta} \quad (1)$$

onde:

$c = (c_r + c_s) / (D \rho_s g)$ = coesão combinada adimensional relativa à espessura perpendicular do solo [D]

a = área de contribuição [m²]

r = ρ_w / ρ_s = razão entre a densidade da água e do solo

β = inclinação do talude [graus];

R = recarga [m/h]

T = transmissividade do solo [m²/h]

\emptyset = ângulo de atrito interno do solo

A escolha e a calibração dos parâmetros de entrada para os cálculos do mapa de SI foram baseadas, inicialmente nos parâmetros utilizados pelos autores do modelo na literatura (PACK *et al.*, 2005). Os parâmetros de entrada utilizados são mostrados a seguir na Tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros de entrada para o modelo SINMAP.

Parâmetro	valor	Unidade
R (recarga)	100.0	m/hr
T (transmissividade) min	0.000040	m ² /hr
T (transmissividade) max	0.000050	m ² /hr
Razão R/T (min)	139.0	m

Razão R/T (max)	436.0	m
Coesão (min) - C1	0.02	adimensional
Coesão (max) - C2	0.28	adimensional
Ângulo de atrito [Ø] min - T1	34.0	graus
Ângulo de atrito [Ø] max - T2	39.0	graus
Densidade água	1000.0	kg/m ³
Densidade solo	2300.0	kg/m ³
Dens água/dens solo [r]	0.43478261	adimensional

Os dados de entrada estático necessários para os cálculos aqui executados são basicamente duas grades no formato raster, *declividade* e *área de contribuição*, extraídos do MDE TOPODATA/SRTM. Outros dados como: estradas, hidrografia, limites de município, geologia, geomorfologia, vegetação, solo, imagens de satélite, altimetria e outros dados morfométricos compõem a base cartográfica como apoio nas análises.

Para essa primeira fase do projeto os dados geoambientais dinâmicos utilizados são as observações de precipitação acumulada diária (últimas 24 horas) estimadas por satélite GOES (Hidroestimador do DSA-INPE).

A plataforma TerraMa2 possibilita a execução do modelo matemático de duas formas distintas, como banco de estudo, onde se executa o modelo para uma área e período específicos ou como banco em operação, e nesse caso o modelo é executado em tempo real, sendo rodado a cada instante em que um novo dado dinâmico dá entrada na plataforma, servidos via internet. A TerraMA2 foi escolhida por ser um produto de software, um sistema computacional baseado em uma arquitetura de serviços, de código aberto, que provê a infraestrutura tecnológica necessária ao desenvolvimento de sistemas operacionais para monitoramento de alertas de riscos ambientais. Ela tem a capacidade de integrar dados hidrometeorológicos, normalmente disponíveis em centros de meteorologia como no Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), entre outros, com mapas de riscos aos mais diversos tipos de desastres. Apoiado em modelos de análises configuráveis pelos usuários, emite diversos níveis de alertas, quando as condições climáticas monitoradas indicarem a possibilidade de ocorrência de um evento extremo (TERRAMA2, 2012).

Nesse estudo o modelo SINMAP foi executado para o município de Nova Friburgo-RJ, para o período do mega-desastre de janeiro de 2011, tanto no modelo implementado na plataforma TerraMA2, quanto no pacote disponibilizado pelos autores. Os resultados obtidos através das duas plataformas foram comparados com a finalidade de validar o modelo implementado, bem como os parâmetros utilizados no TerraMA2.

O resultado é um mapa de SI no formato raster, onde para cada pixel da imagem é atribuído um valor de estabilidade (SI).

Para se chegar ao produto final, onde são mostradas as áreas de risco de escorregamento, uma outra rotina foi implementada como uma análise baseada em objeto monitorado, onde para cada polígono obtido de um arquivo vetorial, é atribuída uma classe de estabilidade, baseada nos intervalos de SI dados no quadro 1. Sobre essas classes de estabilidade é gerado então um tipo de alerta de acordo com parâmetros pré-estabelecidos para cada área específica. Os polígonos utilizados nesse teste foram os setores de risco mapeados pela CPRM.

3. Resultados e Discussão

Para os índices de estabilidade (SI) calculados pelo modelo SINMAP, primeiramente comparou-se, o mapa de SI calculado pelo SINMAP original (extensão para o ArcGIS) com o mapa de SI calculado pela implementação do modelo SINMAP no TerraMA2.

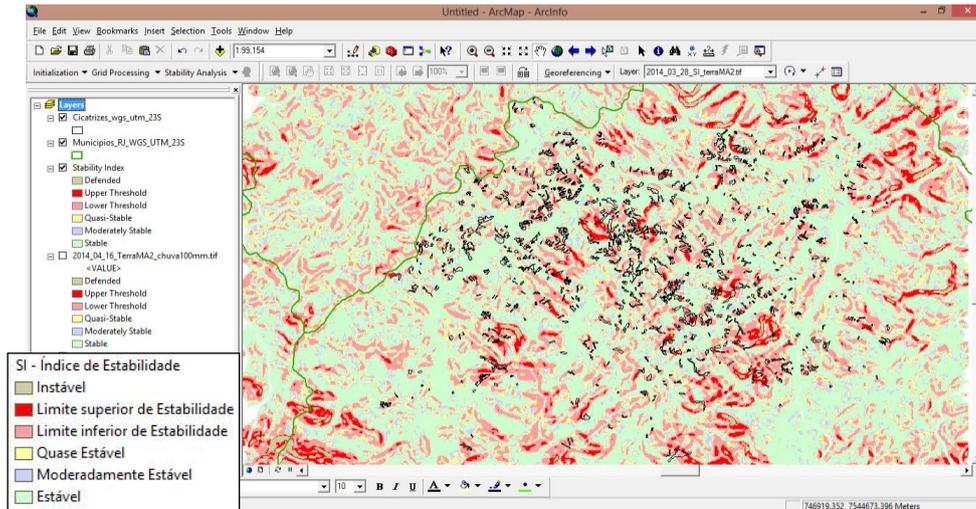


Figura 2 - Mapa de SI calculado pelo TerraMA2, sobreposto com o inventário de cicatrizes dos escorregamentos da mega catástrofe de janeiro de 2011. No canto inferior esquerdo quadro com legenda dos índices de estabilidade.

A figura 3 detalha uma parte do mapa de SI gerado pelos dois sistemas, sobrepostos com o inventário de cicatrizes. Nota-se visualmente a semelhança entre os dois mapas gerados, onde se pode perceber um pequeno aumento no detalhamento do mapa gerado pelo SINMAP implementado no TerraMA2. Esse pequeno aumento no detalhamento pode ser mais bem notado nos dados numéricos apresentados no gráfico da figura 4, onde se percebe que os SI do TerraMA2 apresentam uma ligeira coincidência das cicatrizes com as classes de menos estabilidade, sugerindo uma maior quantidade de acertos desses dados.

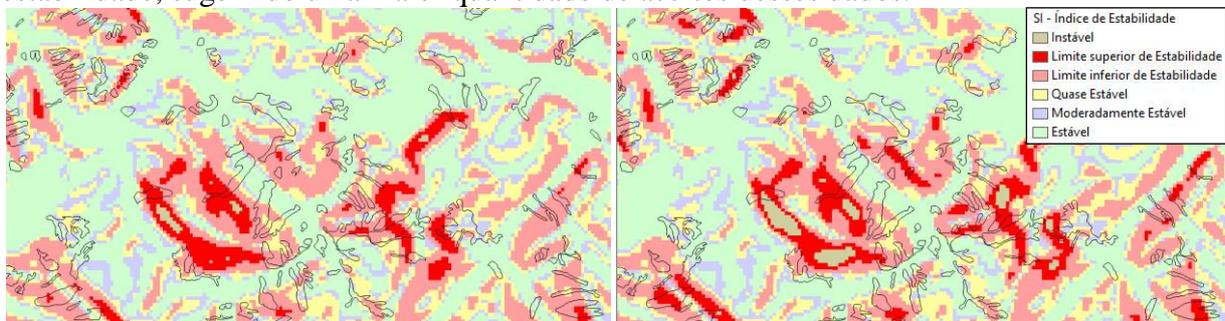


Figura 3 - Detalhe de uma parte do mapa de SI gerado pelos dois programas, sobrepostos com as cicatrizes (em preto). Em (a), os SI do SINMAP original e em (b) os SI do TerraMA2.

Acompanha quadro com legenda dos índices de estabilidade.

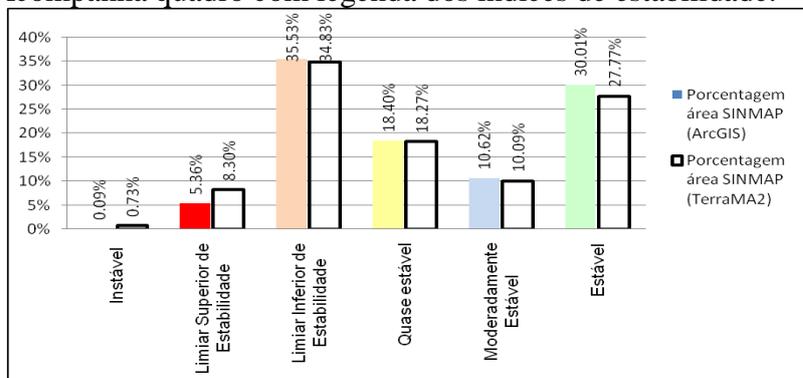


Figura 4 - Gráfico com as porcentagens de área das cicatrizes de escorregamentos de janeiro de 2011 em cada classe de estabilidade mapeada pelo modelo SINMAP, nas barras coloridas

da implementação original (extensão do ArcGIS) e nas barras vazadas da implementação no TerraMA2.

Já o gráfico da figura 5 agrupa as seis classes de estabilidade em apenas duas: Instáveis e Estáveis, a fim de facilitar a análise da eficiência das duas implementações do modelo SINMAP. As barras coloridas sólidas são dos SI calculados pelo SINMAP original (ArcGIS) enquanto as barras vazadas mostram os SI do modelo SINMAP implementado no TerraMA2.

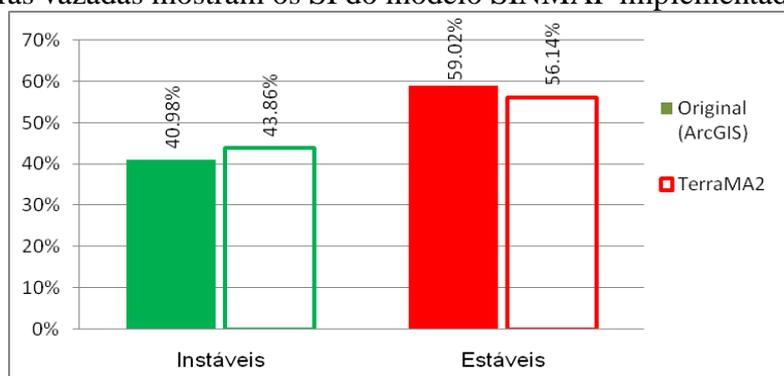


Figura 5 - Gráfico com duas classes de estabilidade: Instáveis e Estáveis, a partir do agrupamento das seis classes de estabilidade do gráfico anterior.

Nota-se que os SI do TerraMA2 teve um acerto ligeiramente melhor, em que as cicatrizes dos escorregamentos coincidiram 44% com as áreas instáveis, enquanto que o modelo original teve coincidência de 41%. Da mesma forma, o modelo do TerraMA2 errou menos, onde 56% das cicatrizes estavam em áreas previstas como estáveis pelo TerraMA2 e 59% no modelo original do ArcGIS.

O inventário de cicatrizes utilizadas nesse trabalho poderia ter sido produzido de forma mais rígida para ser utilizado no processo de validação do mapa de SI com maior veracidade. As cicatrizes foram extraídas por interpretação de imagens de satélite disponíveis no *Google Earth*, não contando assim com um processo mais apurado de correção geométrica (ortorretificação). As cicatrizes deveriam ter sido traçadas consideradas apenas a parte superior da feição de solo exposto visualizada nas imagens de satélite, chamada de "raiz" da cicatriz, pois a parte mais abaixo, chamada de "saia", é ocasionada pela passagem e acúmulo do material deslocado da raiz.

É possível que as áreas verdadeiramente escorregadas estejam sendo superestimadas por essas cicatrizes ora utilizadas que contemplam tanto as raízes com a saia. Dessa forma, se as cicatrizes mapeadas representassem apenas as áreas reais de susceptibilidade, acredita-se que os índices de acerto dos modelos seriam bem maiores.

Para a geração do produto final que é o mapa de risco a escorregamento, utilizou-se os dados de susceptibilidade (mapa de SI) cruzados com o mapa de objetos monitorados (polígonos de risco) que receberam classes de alertas segundo os intervalos de classes dos valores de SI calculados. Lembrando que esses valores de SI são calculados em função dos valores de chuva, onde para cada valor de chuva acumulada diária recebido via ftp, um mapa de SI é gerado e, conseqüentemente, um mapa de risco também.

Na Figura 6 são mostrados os polígonos de risco, devidamente coloridos com as cores dos respectivos níveis de alerta mostrados na legenda, sobrepostos aos dados de chuva do hidroestimador para melhor visualização da correlação chuva x escorregamento. As cores dos alertas são atribuídas pela plataforma TerraMA2 a partir dos valores calculados para SI, conforme mostra o Quadro 1. Para atribuição dos níveis dos alertas pode-se ainda utilizar alguns dos operadores zonais estatísticos existentes (mínimo, máximo, média, mediana, moda etc.). Esses operadores têm influência direta no resultado final dos alertas. No caso do sistema

em questão, foi utilizado o operador zonal "mínimo", onde se um valor mínimo do intervalo de SI do quadro 7 estiver presente em apenas um pixel contido no polígono de risco, essa classe de alerta será atribuída ao polígono. Isso faz com que se tenha um cenário mais pessimista para atribuição dos alertas, em que tal alerta será considerado com o mínimo de chuva possível para deflagrá-lo.

Quadro 1 - Níveis de alerta a partir dos intervalos dos valores calculados de SI.

Intervalo de SI	Valor	Nível de alerta	Cor
$SI \leq 0.5$	4	Alerta máximo	Vermelho
$0.5 < SI \leq 1.0$	3	Alerta	Laranja
$1.0 < SI \leq 1.25$	2	Atenção	Amarelo
$1.25 < SI \leq 1.5$	1	Observação	Azul
$1.5 < SI$	0	Normal	Verde

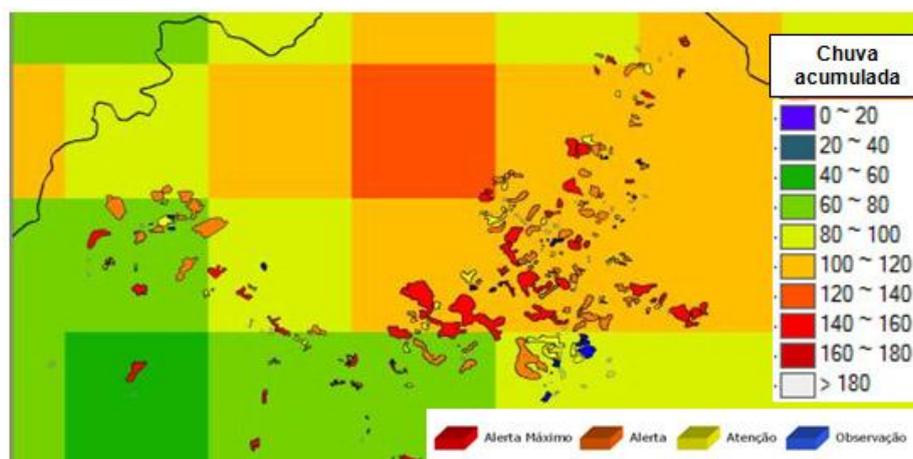


Figura 6 - Polígonos de risco, devidamente coloridos com as cores dos respectivos níveis de alerta calculados pelo SINMAP, mostrados na legenda do canto inferior direito, sobrepostos aos dados de chuva do hidroestimador. A direita, a legenda dos intervalos dos dados de chuva.

4. Conclusões

O modelo SINMAP foi transcrito do código fonte original para o ambiente TerraMA2 com total perfeição, onde teve o seu funcionamento bem mais otimizado que no ambiente original, gerando resultados com maior acurácia por conta da maior precisão na manipulação dos parâmetros e variáveis envolvidos nos cálculos e processamentos. Está totalmente operacional e perdeu a limitação de tamanho das imagens que possuía no seu ambiente original.

A grande inovação do modelo SINMAP implementado na plataforma TerraMA2 foi a capacidade de ser executado para monitoramento em tempo real utilizando entrada de dados geoambientais dinâmicos, quando antes só poderia ser executado de forma estática como parâmetros fixos. Os resultados gerados por ele foram muito satisfatórios, podendo ainda ser melhorados com a entrada de dados de maior qualidade (principalmente altimetria), dados esses não disponíveis no momento para a área de estudo. Esforços estão sendo empregados para colocação de tal sistema funcionando de forma operacional para previsão e monitoramentos dos escorregamentos para a região de estudo, bem como a ser estendida a outras regiões.

Agradecimentos

Ao CNPq pelos recursos disponíveis através de bolsa de Pós-Doutorado Junior ao primeiro autor dessa pesquisa.

Referências Bibliográficas

- ARNONE, E.; NOTO, L.V.; LEPORE, C.; BRAS, R.L. Physically-based and distributed approach to analyze rainfall-triggered landslides at watershed scale. *Geomorphology*, Volume 133, Issues 3–4, 2011, Pages 121-131.
- BEGUERÍA, S. Changes in land cover and shallow landslide activity: A case study in the Spanish Pyrenees. *Geomorphology*, Volume 74, Issues 1–4, 2006, Pages 196-206.
- BITTELLI, M.; VALENTINO, R.; SALVATORELLI, F.; PISA, P.R. Monitoring soil-water and displacement conditions leading to landslide occurrence in partially saturated clays. *Geomorphology*, Volumes 173–174, 2012, Pages 161-173.
- CHIANG, S. & CHANG, K. The potential impact of climate change on typhoon-triggered landslides in Taiwan, 2010–2099, *Geomorphology*, Volume 133, Issues 3–4, 2011, Pages 143-151.
- COLLISON, A.; WADE, S.; GRIFFITHS, J.; DEHN, M. Modelling the impact of predicted climate change on landslide frequency and magnitude in SE England. *Engineering Geology*, Volume 55, Issue 3, 2000, Pages 205-218.
- CROZIER, M.J. Deciphering the effect of climate change on landslide activity: A review. *Geomorphology*, Volume 124, Issues 3–4, 2010, Pages 260-267.
- DE VITA, P.; NAPOLITANO, E.; GODT, J. W.; BAUM, R. L. Deterministic estimation of hydrological thresholds for shallow landslide initiation and slope stability models: case study from the Somma-Vesuvius area of southern Italy. Online First™, DOI: 10.1007/s10346-012-0348-2, 2012.
- GARCÍA-RUIZ, J.M.; BEGUERÍA, S.; ALATORRE, L.C.; PUIGDEFÁBREGAS, J. Land cover changes and shallow landsliding in the flysch sector of the Spanish Pyrenees. *Geomorphology*, Volume 124, Issues 3–4, 2010, Pages 250-259.
- GLADE, T. Landslide occurrence as a response to land use change: a review of evidence from New Zealand. *CATENA*, Volume 51, Issues 3–4, 2003, Pages 297-314.
- JAKOB, M. & LAMBERT, S. Climate change effects on landslides along the southwest coast of British Columbia. *Geomorphology*, Volume 107, Issues 3–4, 2009, Pages 275-284.
- LI, C.; MA, T.; ZHU, X.; LI, W. The power-law relationship between landslide occurrence and rainfall level, *Geomorphology*, Volume 130, Issues 3–4, 2011, Pages 221-229.
- LUA – Linguagem de programação. Disponível em: <<http://www.lua.org>>. Último acesso em 17/05/2012.
- MEDEIROS, V. S.; BARROS, M. T. L. Análise de eventos críticos de precipitação ocorridos na região serrana do Estado do Rio de Janeiro nos dias 11 e 12 de Janeiro de 2001. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19., 2011, Maceió - AL. Anais. Maceió – AL. 2011, p. 1-19.
- MONDINI, A.C.; GUZZETTI, F.; REICHENBACH, P.; ROSSI, M.; CARDINALI, M.; ARDIZZONE, F. Semi-automatic recognition and mapping of rainfall induced shallow landslides using optical satellite images. *Remote Sensing of Environment*, Volume 115, Issue 7, 2011, Pages 1743-1757.
- MUGAGGA, F.; KAKEMBO, V.; BUYINZA, M. Land use changes on the slopes of Mount Elgon and the implications for the occurrence of landslides. *CATENA*, Volume 90, 2012, Pages 39-46.
- PACK, R. T.; TARBOTON, D. G.; GOODWIN, C. N.; PRASA A. SINMAP 2. A Stability Index Approach to Terrain Stability Hazard Mapping, technical description and users guide for version 2.0. Utah State University. 2005. Disponível em: <<http://hydrology.usu.edu/sinmap2/sinmap2.PDF>>, acesso em: 10 fev 2012.
- PERUCCACCI, S.; BRUNETTI, M.T.; LUCIANI, S.; VENNARI, C.; GUZZETTI, F. Lithological and seasonal control on rainfall thresholds for the possible initiation of landslides in central Italy. *Geomorphology*, Volumes 139–140, 2012, Pages 79-90.
- RUETTE, J.V.; PAPRITZ, A.; LEHMANN, P.; RICKLI, C.; OR, D. Spatial statistical modeling of shallow landslides—Validating predictions for different landslide inventories and rainfall events. *Geomorphology*, Volume 133, Issues 1–2, 2011, Pages 11-22.
- SANCHEZ, G.; ROLLAND, Y.; CORSINI, M.; BRAUCHER, R.; BOURLÈS, D.; ARNOLD, M.; AUMAÎTRE, G. Relationships between tectonics, slope instability and climate change: Cosmic ray exposure dating of active faults, landslides and glacial surfaces in the SW Alps. *Geomorphology*, Volume 117, Issues 1–2, 2010, Pages 1-13.
- SINMAP - Stability Index MAPping, disponível em: <<http://hydrology.usu.edu/sinmap/>>, acesso em 07 ago 2012.
- TERRAMA2, Plataforma para monitoramento, análise e alerta a extremos ambientais (TerraMA2). Disponível gratuitamente no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), através do endereço: <<http://www.dpi.inpe.br/terrama2/>>, acesso em 17 mai 2012.