

# ANÁLISE MORFOMÉTRICA EM SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS PARA MONITORAMENTO DO RISCO POTENCIAL A CORRIDAS DE MASSA (*DEBRIS FLOWS*) NA REGIÃO SERRANA DO RIO DE JANEIRO

Elias Ribeiro de Arruda Junior <sup>1</sup>; Eymar Silva Sampaio Lopes <sup>2</sup>;

**Resumo** – Motivado pelos recorrentes desastres naturais ocorridos nas regiões montanhosas do Brasil, especialmente na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro, deflagrados pelas fortes chuvas de verão, o presente estudo realizou a análise morfométrica em sub-bacias hidrográficas para monitoramento do risco potencial a corridas de massa (*debris flows*) na Região Serrana do Rio de Janeiro, utilizando os dados do evento de março de 2013. Para isso, foi utilizado o Modelo Digital de Elevação (MDE) SRTM/TOPODATA, para o cálculo das direções de fluxo para cada pixel a partir das altitudes do modelo. A partir da grade de fluxo foram extraídas as linhas de drenagem de forma automática e com as direções de fluxo e os segmentos da drenagem foram delimitadas as sub-bacias hidrográficas. Parâmetros morfométricos escolhidos partindo-se da literatura foram utilizados como condicionantes dos escorregamentos generalizados deflagradores das corridas de massa para cada sub-bacia e evitando parâmetros com alto grau de correlação. Pesos e ponderações foram definidos para o cálculo das áreas potenciais à geração de corridas e por fim foram implementados os modelos de análise na plataforma TerraMA<sup>2</sup>. A partir dos resultados obtidos, concluiu-se que os parâmetros morfométricos das sub-bacias são importantes para diagnosticar a vulnerabilidade de cada bacia à geração de material para corridas de massa e que diferentes tecnologias de aquisição de dados de chuva podem produzir resultados diferentes para sistemas de monitoramento.

**Abstract** – Motivated by recurrent natural disasters in the mountainous regions of Brazil, especially in the State of Rio de Janeiro triggered by heavy summer rains, the present study performed a morphometric analysis in sub-watersheds for monitoring the potential risk to debris flows in the mountainous region of Rio de Janeiro by using the event data in March 2013. For this, we used the Digital Elevation Model (DEM) SRTM / TOPODATA, to calculate the flow directions for each pixel based on the altitudes of the model. Based on the grid were extracted automatically drain lines and with the flow directions and drainage segments were delineated sub-watersheds. Morphometric parameters were chosen from the literature and they were used as determinants of widespread landslides triggering the debris flows for each sub-watersheds and avoiding parameters with a high degree of correlation. Weights and ponderations were defined for the calculation of potential areas to generate runs and were implemented the analysis models in the TerraMA2 platform. From results obtained in this study, it may be concluded that the morphometric parameters of the sub-watersheds are important to diagnose the vulnerability of each basin to the generation of material for debris flow and that different technologies for acquisition of rain data can produce different results for monitoring systems.

**Palavras-Chave** – Monitoramento, corridas de massa, Região Serrana do Rio de Janeiro, análise morfométrica de bacias hidrográficas, *Debris Flow*

<sup>1</sup> UFF: Avenida Litorânea, s/n - Boa Viagem - Niterói RJ, CEP-24030-346, Tel: (21) 2629-5985, eliasarrudajr@yahoo.com.br

<sup>2</sup> INPE: Av. Astronautas, 1758, Jd.Granja, São José dos Campos-SP, CEP- 12227-010, Tel: (21) 32086500, ey-mar@dpi.inpe.br

## 1 INTRODUÇÃO

Os movimentos de massa são fenômenos naturais de dinâmica externa com a capacidade de mudar e modelar a topografia, tendo o papel de agentes atuantes na evolução das formas do relevo. Entre os vários tipos de movimentos de massa, as corridas de massa (*debris flows*) deflagradas pelos escorregamentos translacionais generalizados 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.

Segundo o documento *Annual Disaster Statistical Review 2011: The number and trends* (GUHA-SAPIR *et al.*, 2012), os desastres hidrológicos (inundações e movimentos de massa) tiveram a maior participação nas ocorrências dos desastres naturais ocorridos ao redor do mundo em 2011 (52,1%).

Guha-Sapir *et al.* (2012) ainda relatam que o Brasil encontra-se na 3ª posição no ranking mundial de número de mortes causadas por desastres naturais em 2011 (978), o qual na sua totalidade é atribuído a desastres do tipo hidrológico.

Estes fenômenos no Brasil ocorrem frequentemente em paisagens montanhosas, particularmente na região sudeste, devido às grandes descargas hidráulicas que ocorrem na estação do verão (WOLLE e HACHICH, 1989; LACERDA, 1997). Nos últimos anos, uma série de eventos hidrológicos extremos levou a consideráveis perdas não apenas econômicas e sociais, mas principalmente humanas no país. A mega-catástrofe ocorrida em janeiro de 2011 na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro deflagrada por eventos pluviométricos extremos foi classificada como a maior catástrofe natural já ocorrida no país e está entre uma das dez maiores ocorridas no mundo. Agentes do governo afirmaram que houve mais de 900 vítimas fatais e o número de desabrigados passou de 35.000 pessoas.

Nesse ano de 2013, novos eventos ambientais extremos voltaram a ocorrer na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro com as fortes chuvas dos dias 17 e 18/03/2013, que chegaram a 499 mm em 96 horas, com um saldo negativo de 34 mortos e 1500 desabrigados (G1, 2013).

Nesse trabalho, as sub-bacias foram definidas como unidade de pesquisa para o potencial em gerar corridas pela importância fundamental da drenagem e das bacias hidrográficas que as envolve na deflagração desses fenômenos.

Segundo Gramani (2001) existem vários fatores responsáveis pelas corridas, divididos em dois grupos: fatores internos, relacionados com as encostas, drenagens e bacia de captação, e dentre os externos, destacam-se as precipitações pluviométricas, águas de origem glacial (degelo), sismos, vulcanismo e atividades antrópicas. Estes fatores podem contribuir de maneira isolada ou de forma conjunta em um único evento. O nível crítico de material sólido e água é controlado pela combinação destes fatores.

Esse estudo teve como foco algumas condicionantes relacionadas às bacias hidrográficas e sua rede de drenagem, que serão abordadas com detalhes nesse estudo.

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.

Apesar de o Brasil haver assinado um acordo junto a outros 167 países, logo após o tsunami da Indonésia em 2005, que previa até 2015 a implantação de sistemas de alerta para reduzir o risco de desastres naturais (HFA, 2005), o sistema brasileiro revelou-se frágil para prever com antecedência e 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.

Para o desenvolvimento do sistema de monitoramento da área de estudo foi utilizada a plataforma TerraMA<sup>2</sup>, do DPI/INPE que permite a construção de modelos ambientais com execução em tempo real, para diversas aplicações como movimentos de massa do tipo escorregamentos e corridas de lama, bem como enchentes e estiagens, qualidade do ar, qualidade da água, gasodutos, barragens de rejeito em área de mineração e incêndios florestais

entre várias outras (TERRAMA<sup>2</sup>, 2012). No entanto, como se trata de uma plataforma de desenvolvimento, fez-se necessária a implementação dos modelos de análise.

## 2 OBJETIVO

O objetivo geral deste trabalho foi realizar a análise morfométrica em sub-bacias hidrográficas para monitoramento do risco potencial a corridas de massa (*debris flows*) na Região Serrana do Rio de Janeiro, utilizando os dados das fortes chuvas de março de 2013.

### 2.1 Objetivos específicos

Os objetivos específicos desse trabalho foram:

- Delimitar as bacias hidrográficas a partir de Modelo Digital de Elevação (MDE) da missão SRTM do projeto TOPODATA-INPE;
- Definir os parâmetros morfométricos para cada bacia hidrográfica a serem utilizados como condicionantes dos escorregamentos;
- Definir pesos e ponderações para áreas potenciais a geração de escorregamento;
- Implementar os modelos de análise na plataforma TerraMA<sup>2</sup> e realizar retro-análise do evento de março de 2013.

## 3 AREA DE ESTUDO

A área de estudo abrange uma parcela do Estado do Rio de Janeiro, compreendendo parte das Regiões Serrana, Metropolitana, Baixada Litorânea e Centro-Sul Fluminense, conforme pode ser visto na figura 1. A delimitação dessa área de estudo levou em consideração a localização das sub-bacias em diferentes domínios geomorfológicos. A distribuição das sub-bacias representam as variações em altitude, amplitude e declividades da região.

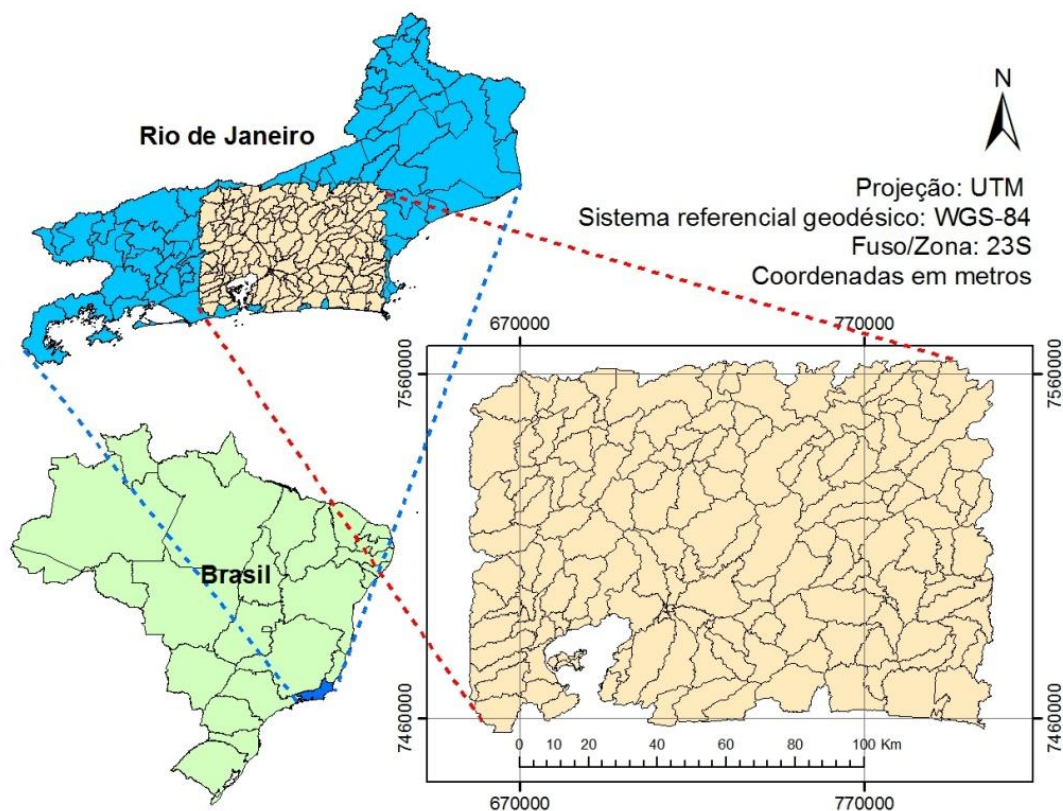


Figura 1. Localização da área de estudo.

## 4 MATERIAL E METODOS

### 4.1 Material

Essa pesquisa foi desenvolvida nas instalações das Divisões de Processamento de Imagens (DPI) e Sensoriamento Remoto (DSR), na Coordenação Geral de Observação da Terra (OBT), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Foram utilizados os ambientes Spring, TerraView, TerraMA<sup>2</sup>, TerraHidro e ESRI ArcGis. Para o desenvolvimento das aplicações foram utilizadas as Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico (LEGAL, 2013) e a linguagem LUA (LUA, 2012), utilizadas no Spring e TerraMA<sup>2</sup> respectivamente.

Os principais insumos utilizados foram: Mapeamento topográfico do IBGE disponível gratuitamente no formato vetorial, na escala 1:50.000 (IBGE, 2011); Modelo Digital e Elevação (MDE) da missão americana NASA/SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*), refinados pelo projeto TOPODATA, na resolução espacial de 30m, disponível gratuitamente pelo projeto TOPODATA/INPE (TOPODATA, 2013).

Foram também utilizados os seguintes dados ambientais: Precipitação por satélite GOES (Hidroestimador do DSA-INPE), corresponde a estimativa de chuva em mm/h, calculada a partir de uma banda do infra-vermelho do GOES-12). A taxa de coleta dessas imagens é de 15 em 15 minutos, na resolução de 4 x 4 km; Descargas elétricas (raios) da rede RINDAT-INPE com frequência de 15 em 15 minutos, na resolução de 4 x 4 km; Estimativa de Precipitação Eta (Modelo de previsão numérica), corresponde ao dado de previsão executada 2 vezes ao dia (0 e 12 horas) como modelo regional Eta, com até 72 horas previstas (3 dias), na resolução de 5 x 5 km; Radar meteorológico Pico do Couto – RJ, grades com valores de reflectividade. A taxa de coleta do radar é de aproximadamente 15 em 15 minutos, na resolução de 1 x 1 km (TERRAMA2, 2012b).

### 4.2 Metodologia

#### 4.2.1 Extração da rede de drenagem e delimitação das sub-bacias hidrográficas

A partir do MDE da SRTM, refinado pelo projeto TOPODATA, no formato *raster* com 30m de resolução espacial, foram extraídas as linhas de drenagem e delimitadas as sub-bacias através de ferramentas presentes no Sistema para Modelagem Hidrológica Distribuída (TerraHidro), desenvolvido na DPI/INPE.

Antes, porém, faz-se necessário ajustar o MDE para eliminação de imperfeições nos valores dos pixels gerando áreas de depressão (*pit*), com acúmulo de água, sem drenagem para os pixels vizinhos. Áreas planas também devem ser modificadas de forma a "cavar" uma linha de drenagem para escoamento até um outro canal de drenagem já delimitado na sua proximidade.

Após a eliminação dessas imperfeições, parte-se então para a geração de uma nova grade raster com valores que expressam a possível direção de fluxo de um pixel com relação aos seus 8 vizinhos, calculada a partir dos valores de altitude do MDE.

A partir dos valores da direção de fluxo, calcula-se o fluxo local e em seguida o valor de fluxo acumulado para cada célula, onde cada pixel recebe o fluxo que chegam até ele.

Os canais de drenagem são então delimitados selecionando pixels com valores de fluxo acumulado maiores que um valor de limiar pré-determinado pelo usuário. Esse limiar responde pela densidade de drenagem que será extraída, quanto menor for esse valor, mais densa será a drenagem. Essa grade no formato *raster* contendo a rede de drenagem extraída então foi convertida para o formato vetorial (*shapefile*) para posterior manipulação.

O limite das bacias hidrográficas obedece a parâmetros topográficos, onde se traça uma linha imaginária pelos pontos mais elevados do terreno, atravessando o curso d'água apenas no exutório (CHRISTOFOLETTI, 1980).

A delimitação das sub-bacias de forma automática se dá através do processamento da grade de direção de fluxo e dos segmentos extraídos dos canais de drenagem. Para maiores

detalhes dos procedimentos realizados com TerraHidro consultar Oliveira *et al.* (2008) e Rosim *et al.* (2013).

#### 4.2.2 Definição dos parâmetros morfométricos

Foram analisados vários parâmetros morfométricos das sub-bacias com foco naqueles que apontam para um maior potencial em produzir material às corridas de massa através de escorregamentos generalizados. Os parâmetros escolhidos foram a proporção de áreas com declividades entre 25° a 50°, a amplitude topográfica e circularidade das sub-bacias.

No caso da declividade, foi escolhido este intervalo por apresentar maior probabilidade de disponibilidade de material para ocorrência de escorregamentos, segundo Lopes *et al.* (2007). Operadores zonais médios no SPRING foram utilizados para atribuir os valores de declividade e amplitude (diferença e o menor e maior valor altimétrico) para cada sub-bacias. O índice de circularidade (IC) foi calculado através da razão entre a área da bacia (A) e a área de um círculo com o mesmo perímetro da bacia (P) (MILLER, 1953; STRAHLER, 1964; OLIVEIRA, 2007), expresso pela equação 1.

$$IC = \frac{4\pi A}{P^2} \quad (1)$$

Onde, IC é o índice de circularidade, A a área da bacia, P o perímetro da bacia.

Nessa equação o valor máximo é 1 quando a bacia tem a forma circular ideal. Assim, quanto mais próximo o valor de 1, maior circularidade possui a bacia.

Segundo Miller (1953), Christofolletti (1980) e Oliveira (2007) em um evento de chuva, as bacias com formato alongado apresentam fluxos de água que atingem o exutório em diferentes tempos conforme o seu posicionamento na bacia. Assim, os fluxos iniciados nas cabeceiras da bacia percorrem um caminho mais longo até o exutório, levando um tempo maior do que aqueles das nascentes próximas do exutório. Em contraposição, em uma bacia circular todas as nascentes ficam aproximadamente equidistantes do exutório, o que faz com que este seja atingido concomitantemente pelos fluxos.

#### 4.2.4 Definição dos pesos e ponderações para áreas potenciais a geração de corridas

Cada parâmetro morfométrico recebeu um valor de peso que variou de 0 à 1 para cada sub-bacia. Para definição dos pesos entre os parâmetros morfométricos foi utilizada a ferramenta de apoio à tomada de decisões baseada na técnica AHP ("Processo Analítico Hierárquico"), realizada através de uma comparação pareada entre todos as variáveis envolvidas, nesse caso os parâmetros morfométricos (SPRING, 2013). A escala de valores AHP para comparação pareada é mostrada na tabela 1.

Tabela 1. Escala de Valores AHP para comparação pareada (SPRING, 2013).

<i>Intensidade de importância</i>	<i>Definição e Explicação</i>
1	Importância igual - os dois fatores contribuem igualmente para o objetivo;
3	Importância moderada - um fator é ligeiramente mais importante que o outro;
5	Importância essencial - um fator é claramente mais importante que o outro;
7	Importância demonstrada - Um fator é fortemente favorecido e sua maior relevância foi demonstrada na prática;
9	Importância extrema - A evidência que diferencia os fatores é da maior ordem possível;
2,4,6,8	Valores intermediários entre julgamentos - possibilidade de compromissos adicionais.

A análise espacial no ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG) decorreu transformando-se os dados para o espaço de referência [0..1] e processados por combinação numérica, através de média ponderada.

Os pesos para cada parâmetro morfométrico, calculados pelo método AHP do SPRING estão na tabela 2.

Tabela 2. Pesos para cada parâmetro morfométrico calculados pelo AHP do SPRING.

<i>Elementos na equação</i>	<i>Parâmetro morfométrico</i>	<i>Peso (variando no intervalo de 0 à 1)</i>
a	Declividades entre 25º a 50º	0,603
b	Amplitude altimétrica	0,315
C	Circularidade da bacia	0,082

O cálculo dos valores finais para o potencial a geração de corridas, para cada polígono de sub-bacia, envolvendo os parâmetros e seus respectivos pesos dados na tabela 2 está devidamente mostrada na equação 2.

$$\text{Potencial de corrida} = a * 0,603 + b * 0,315 + c * 0,082 \quad (2)$$

Onde, 0 significa nenhum potencial para geração de corrida e 1 significa potencial máximo.

#### 4.2.5 Implementação dos modelos de análise na TerraMA<sup>2</sup>

Na TerraMA<sup>2</sup> foram implementadas análises escritas na linguagem LUA para sobreposição das sub-bacias com os dados hidrometeorológicos de precipitação. No caso foram feitas análises utilizando o hidroestimador e o radar meteorológico de forma isolada, utilizando operadores para cálculo de valores instantâneos e acumulados. Análises combinadas com hidroestimador e modelo de previsão ETA também foram realizadas com o objetivo de alertas antecipados em função da chuva acumulada pelo hidroestimador e prevista pelo modelo ETA. As mesmas análises foram realizadas considerando o potencial de corrida calculado acima.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes aos parâmetros morfométricos, segundo tabela 2, entre outros, foram calculados para cada sub-bacia. A figura 2 mostra uma legenda aplicada aos pesos calculados para o potencial de corrida, onde observa-se que as bacias localizadas na região serrana apresentam maiores valores de, enquanto na região litorânea apresentam menores valores.



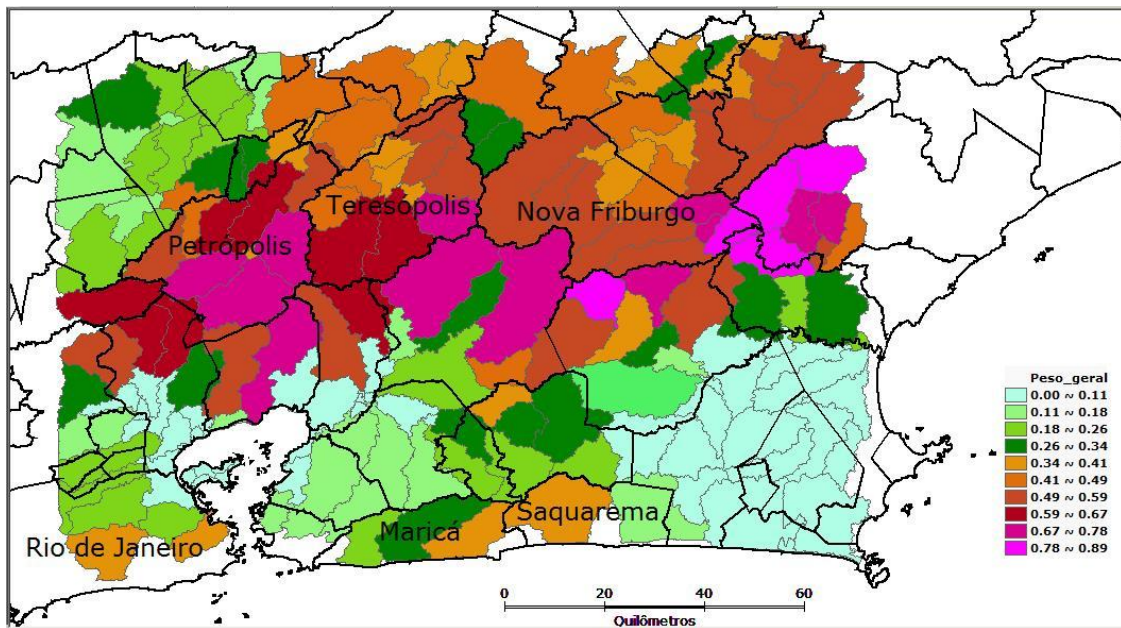


Figura 2. Peso geral para o potencial de corrida, contemplando os três parâmetros morfométricos calculados anteriormente.

As análises realizadas com o hidroestimador, seja para dados instantâneos, como para dados acumulados de 48h e 72h, não mostraram valores de alertas expressivos para o evento em questão. Tal fato deve-se que as chuvas foram subestimadas pelo satélite GOES dado que não havia formações frias com cristais de gelo. O baixo valor de chuva observado por satélite também pode ser comprovado pelo número de descargas elétricas (raios) medida pela rede RINDAT do INPE. Análises realizadas com número de raios por sub-bacias mostraram apenas 273 descargas algumas horas antes da maior precipitação. As descargas elétricas foram observadas somente no dia 17/03/2013, entre 15:00 e 21:15, sendo que 85% destas nas áreas litorâneas principalmente no município de Macaé e Magé.

Os resultados apresentados na figura 3 mostram as sub-bacias analisadas com operador de média zonal sobre imagens do radar meteorológico Pico do Couto. Em ambas as análises, somente radar e radar + potencial de corrida mostram que quando o valor do potencial de corrida é ponderado para cada bacia, somente as bacias mais vulneráveis entram em alerta.

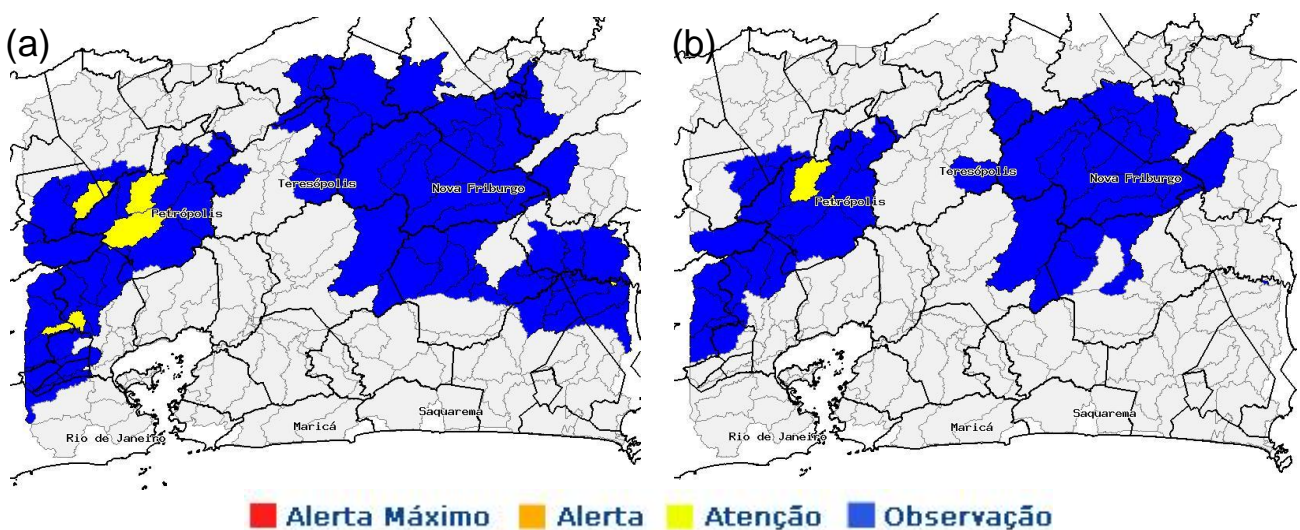


Figura 3. Análise das sub-bacias sobre imagens do radar meteorológico. (a) quando analisado somente com imagem do radar; (b) quando analisada imagem do radar multiplicado pelo peso do potencial de corrida.

Da mesma forma, na figura 4, comparando as análises que não utilizam o potencial de corrida e as análises que a utiliza, mostram uma redução significativa no número de bacias em alerta. Nota-se que grande parte das bacias da região litorânea que estão em estado de atenção e alerta, amarelo e laranja respectivamente (a); as mesmas sub-bacias não estão em alerta quando o potencial de corrida é considerado para a mesma intensidade de chuva observada e prevista (b).

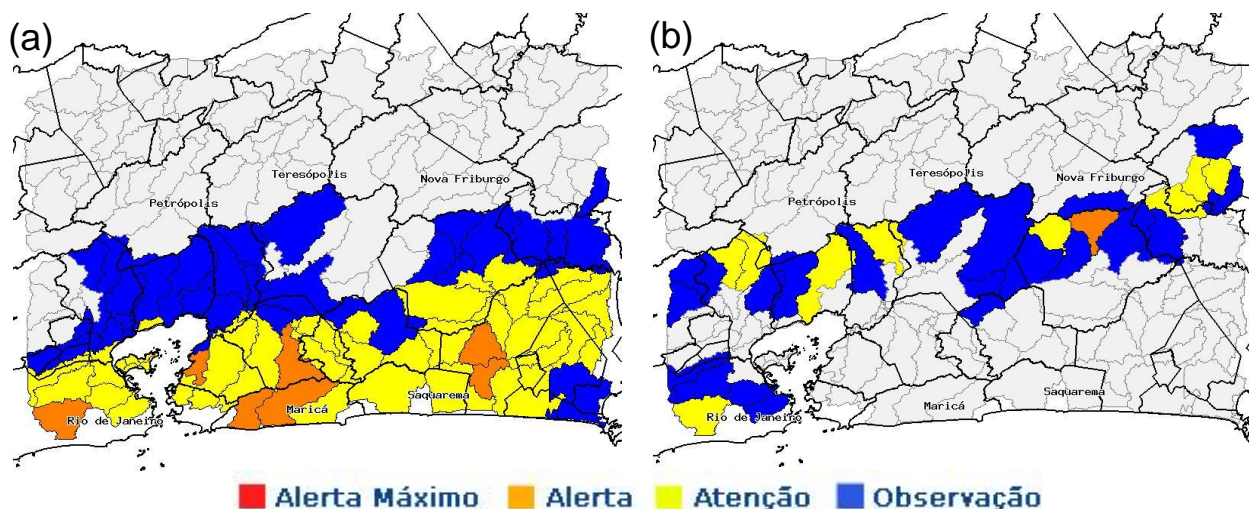


Figura 4. Análise das sub-bacias sobre imagens do hidroestimador (24h) e modelo de previsão Eta (12h). (a) quando analisado somente com imagem do hidroestimador e Eta; (b) quando analisada imagem do hidroestimador e Eta multiplicado pelo peso do potencial de corrida.

## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A partir dos resultados encontrados, conclui-se que os parâmetros morfométricos das sub-bacias são importantes para diagnosticar quais bacias são mais ou menos vulneráveis a geração de material para corridas de massa.

É importante avaliar que diferentes tecnologias de aquisição de dados de chuva podem produzir resultados diferentes para sistemas de monitoramento.

Para uma tomada de decisão a partir dos alertas emitidos para as sub-bacias, voltados para a questão de fontes geradoras de material para corridas, quando as análises consideram o peso do potencial de corrida produz resultados mais adequados do que só utilizados dados de chuva.

Como recomendações, sugere-se que outros parâmetros morfométricos não abordados nesse estudo serão alvo de estudos por técnicas de Análise de Componentes Principais (ACP) para eliminar redundância entre parâmetros com alto grau de correlação.

Salientando que as análises foram realizadas somente a intensidade de chuva dentro das bacias e/ou os pesos atribuídos dentro de cada bacia. Não foi considerada a dependência de cada bacia em relação as bacias que estão a montante da bacia em questão. Esta dependência entre as bacias será alvo de estudos futuros.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHRISTOFOLETTI, A. (1980). Geomorfologia. 2a ed. São Paulo: Edgard Blücher. 188p.

G1. (2013). Disponível em: <http://g1.globo.com/rj/serra-lagos-norte/noticia/2013/04/morre-34-vitima-das-chuvas-em-petropolis-regiao-serrana-do-rj.html>, acesso em: 20/06/2013.

GRAMANI, M.F. (2001). Caracterização geológica-geotécnica das corridas de detritos (“Debris Flows”) no Brasil e comparação com alguns casos internacionais. 372f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Solos) – EPUSP - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

GUHA-SAPIR, D.; VOS, F.; BELOW, R.; PONSERRE, S. (2012). Annual Disaster Statistical Review 2011: The numbers and trends. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED), Institute of Health and Society (IRSS), Université Catholique de Louvain – Brussels, Belgium. Disponível em: [http://www.cred.be/sites/default/files/ADSR\\_2011.pdf](http://www.cred.be/sites/default/files/ADSR_2011.pdf)

HFA. (2005). Hyogo Framework for Action 2005-2015: Building the Resilience of Nations and Communities to Disasters, ISDR (International Strategy for Disaster Reduction), UNISDR (The United Nations Office for Disaster Risk Reduction). Disponível em: <http://www.unisdr.org/we/coordinate/hfa>, último acesso em 05/09/2012.

IBGE. (2013). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cartas topográficas escala 1:50.000 em formato digital para download gratuito via FTP. Acessado em 10/02/2013, através do endereço eletrônico: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas/topograficos/topo50/>.

LACERDA, W. A. (1997). Stability of Natural Slopes Along the Tropical Coast of Brazil. Balkema, Rotterdam. p.17-39.

LEGAL. (2013) <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/legal.html>

LOPES, E.S.S. (2012). TerraMA<sup>2</sup> - Plataforma para monitoramento, análise e alerta a extremos ambientais. Apresentação de slides. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). São José dos Campos-SP.

LOPES, E.S.S, RIEDEL, P.S., BENTZ, C. M., FERREIRA, M. V., NALETO, J. L. C. Inventário de escorregamentos naturais em banco de dados geográfico – análise dos fatores condicionantes na região da Serra de Cubatão - SP In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007, Florianópolis.

**Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto.** São José dos Campos: INPE, 2007. v.1. p.2785 - 2796

LUA. (2012). Linguagem de programação. Disponível em: <http://www.lua.org>. Último acesso em 17/05/2012.

MILLER, V.C. (1953). A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee. Technical report, 3, Office of Naval Research. Department of Geology, Columbia University, New York.

OLIVEIRA, S.N.; CARVALHO JÚNIOR, O.A.; SILVA, T.M.; GOMES, R.A.T.; MARTINS, E.S.; GUIMARÃES, R.F.; SILVA, N.C. (2007). Delimitação automática de bacias de drenagens e análise multivariada de atributos morfométricos usando modelo digital de elevação hidrologicamente corrigido. Revista brasileira de Geomorfologia - Ano 8, nº 1.

ROSIM, S.; OLIVEIRA, J.R.F.; JARDIM, A.C.; NAMIKAWA, L.M.; RENNÓ, C.D. (2013). TerraHidro: A Distributed Hydrology Modelling System With High Quality Drainage Extraction. IARIA, GEOProcessing: The Fifth International Conference on Advanced Geographic Information Systems, Applications, and Services. ISBN: 978-1-61208-251-6.

SPRING. (2013). Tutorial do SPRING 5.2. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/manuais.html>. Acesso em: 02/07/2013.

STRAHLER, A.N. (1964). Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. Section 4-2. In: Vemte Chow (ed.). Handbook of applied hydrology. New York: McGraw-Hill. p. 4-55.

TERRAMA2. (2012). 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 17/05/2012.

TERRAMA2. (2012b). Plataforma para monitoramento, análise e alerta a extremos ambientais (TerraMA2) - Exercícios Práticos. Curso TerraMA2 DPI/INPE. Disponível gratuitamente no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), através do endereço: <http://www.dpi.inpe.br/terrama2/>, acesso em 20/06/2012b.

TOPODATA. (2013). TOPODATA: Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>, acessado em 20/04/2013.

WOLLE, M. C. and HACHICH, W. (1989). Rain-induced Landslides in Southeastern Brazil. XII Intern. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng., Rio de Janeiro, Brasil, v. 3. p.1639-1642.