

INVENTÁRIO SEMIAUTOMÁTICO DE MOVIMENTOS DE MASSA NA COSTA VERDE, RJ

Vitoria Ramos de Oliveira Moraes ¹
Marina Tamaki De Oliveira Sugiyama ²
Maria Carolina Villaça Gomes ³

INTRODUÇÃO

Os inventários de movimentos de massa ocupam um importante espaço na pesquisa geomorfológica ao permitirem o reconhecimento da extensão, distribuição e danos causados por estes processos que, apesar de fundamentais para a evolução da paisagem, são responsáveis por desencadear situações de perigo em diversas regiões do mundo (Guzzetti, 2012).

O inventário de movimentos de massa, em linhas gerais, é o registro da localização, tipologia e data de fenômenos gravitacionais de massa que deixaram vestígios na paisagem, como cicatrizes de escorregamento (Guzzetti, 2012). Os inventários partem de algumas premissas que auxiliam na visualização de processos: escorregamentos e corridas de massa deixam sinais visíveis na paisagem, que podem ser registrados e classificados; diferentes tipologias de movimentos de massa, acarretam em diferentes assinaturas morfológicas (Cruden e Varnes, 1996; Varnes, 1978); o passado é fundamental para identificação de áreas suscetíveis, já que os movimentos de massa são resultados de interações de leis mecânicas e processos físicos (Guzzetti et al, 2000). Seus propósitos também são múltiplos, variando de acordo com extensão e intensidade dos fenômenos, sendo possível documentar fenômenos em escalas de bacias hidrográficas a grandes regiões, como estados e municípios.

A região da Costa Verde, no sul fluminense, é reconhecida como uma área de suscetibilidade a ocorrência de movimentos de massa devido, sobretudo, à presença de vertentes escarpadas e elevados índices pluviométricos. Entretanto, existe uma significativa lacuna de dados referentes aos eventos de movimentos de massa ocorridos

¹ Graduando do Curso de Geografia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro - RJ, vitoriaramos.uerj@gmail.com;

² Mestranda do Curso de Geografia da Universidade de São Paulo - SP, marinatamaki@usp.br;

³ Professora Doutora: Instituto de Geografia, Departamento de Geografia Física da Universidade do Estado do Rio de Janeiro - RJ, mcarolvg@gmail.com;

nesta região, relacionada, principalmente, a menor ocupação urbana em comparação com outras regiões do Estado. Atualmente, medidas do Governo do Estado do Rio de Janeiro listaram os municípios de Paraty, Angra dos Reis e Mangaratiba como áreas prioritárias no combate a eventos climáticos extremos, buscando capacitar as cidades na prevenção de riscos e desastres (Rio Inclusivo e Sustentável, 2024).

O desenvolvimento de técnicas automatizadas para a elaboração de inventários de movimentos de massa, assim como a disponibilidade de imagens de satélites de alta resolução, vem aumentando a capacidade e eficiência destes processos. Algumas pesquisas recentes apontam a utilização de técnicas semiautomáticas como *Object Based Image Analysis* (OBIA) como uma alternativa às análises tradicionais baseadas nos valores unitários dos pixels. Trabalhos como Amatya (2021) relatam uma maior acurácia na identificação de cicatrizes em imagens com texturas heterogêneas e a diminuição de falsos positivos e falsos negativos, principalmente por utilizarem a segmentação, convertendo pixels heterogêneos em objetos, e a classificação, baseada em regras, através de características espectrais, morfológicas e topográficas.

Dessa forma, o objetivo do trabalho foi produzir um inventário semiautomático de movimentos de massa na Bacia Hidrográfica da Barra Grande, localizada no município de Paraty, na região da Costa Verde, a partir da técnica OBIA.

METODOLOGIA

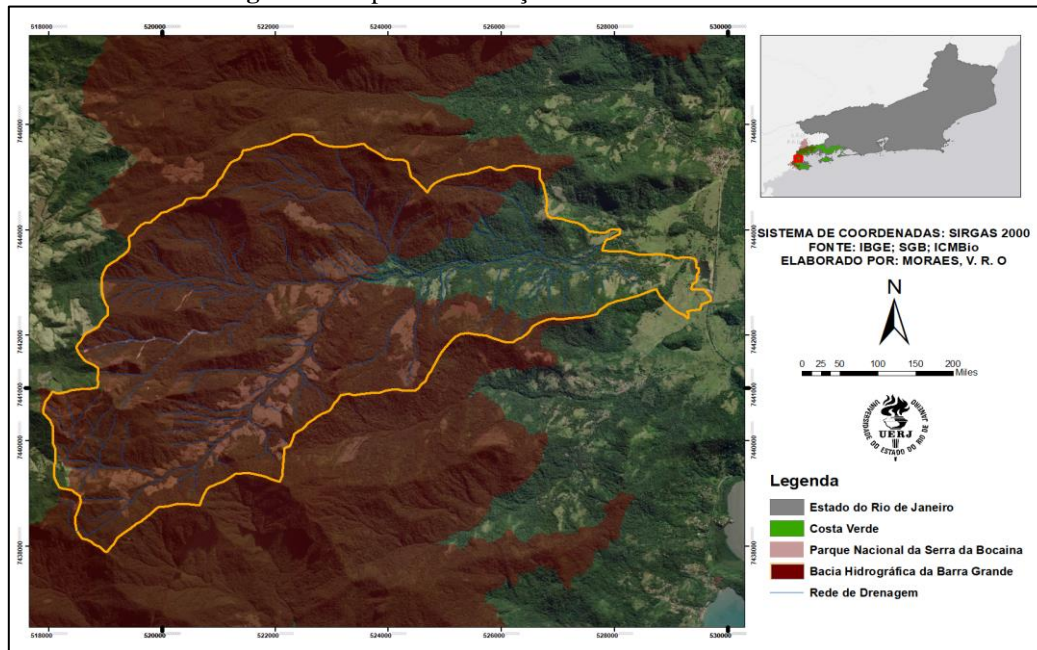
A região da Costa Verde é composta pelos municípios de Mangaratiba, Angra dos Reis e Paraty e, está localizada no litoral da região sul fluminense, no Estado do Rio de Janeiro. Com 2.116 km² de área, este setor do estado recebe esta denominação em razão da proximidade da Serra do Mar com o Oceano Atlântico.

Suas vertentes sul são caracterizadas por encostas íngremes, compostas por vales encaixados e ombreiras de interflúvio, com a formação de depósito de talús e colúvios abundantes em fragmentos rochosos no sopé devido à alta ocorrência de movimentos de massa (Silva, 2006).

A área selecionada para o trabalho foi a Bacia Hidrográfica da Barra Grande (Figura 1), localizada no município de Paraty. A escolha do recorte é motivada pela ocorrência de um evento de movimentos de massa que afetou cerca 219 famílias e deixou 7 vítimas fatais (G1, 2022). Os escorregamentos rasos e corridas de detritos foram deflagrados por um evento de precipitação no mês de abril de 2022, que apresentou um

total pluviométrico de 270mm em 48 horas (Agrimtempo), dados retirados da estação meteorológica Parati, localizada na planície do município, o que sugere acumulados de precipitação maiores em áreas de escarpas.

Figura 1: Mapa de localização da Bacia da Barra Grande



Fonte: Elaboração própria, 2024.

Para a elaboração do inventário foram utilizados dois principais produtos: i) a imagem do satélite PlanetLabs, com resolução de 3 metros, do dia 23 de abril de 2022. ii) o Modelo Digital de Elevação, com 30 metros de resolução, a partir dos dados SRTM (SBG). Os processamentos foram realizados no software SAGA 8.5.1. As primeiras etapas consistiram na delimitação da Bacia Hidrográfica e de uma área teste com 0,8 km² para a delimitação manual de cicatrizes, utilizadas para a validação do inventário.

A partir das bandas espectrais foram geradas as medidas estatísticas de *Variância*, *Entropia*, *Contraste* e *Energia*, enquanto que a partir do MDE foram derivados os parâmetros morfométricos Declividade, Aspecto, Área de Contribuição, Índice Topográfico de Umidade, Declive da Captação.

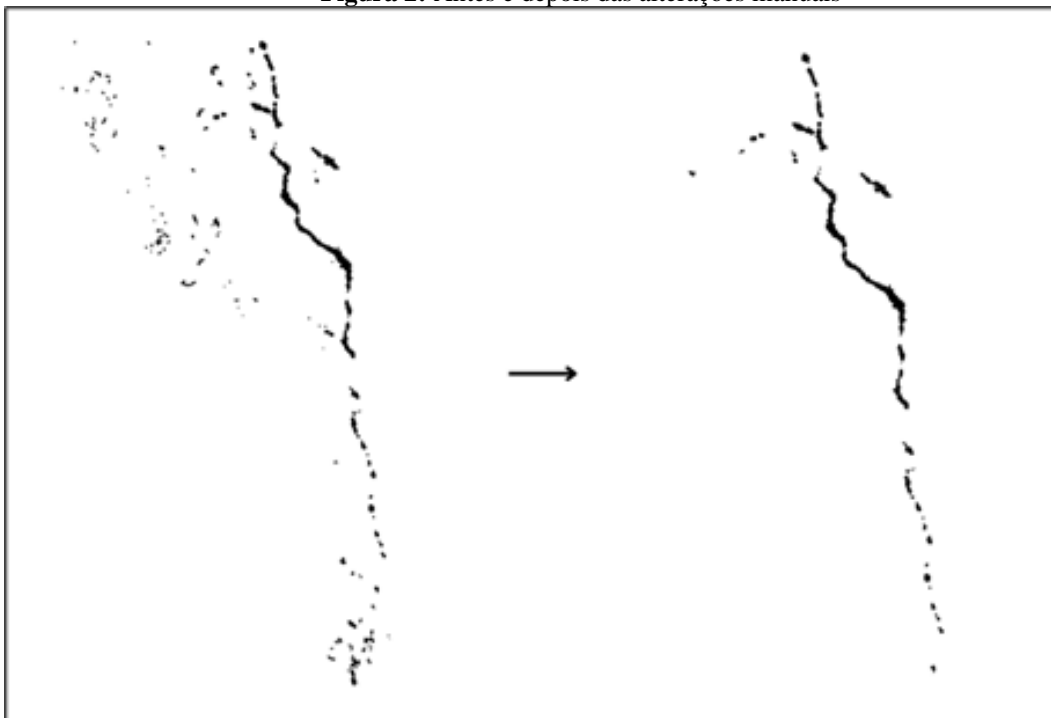
Utilizando como *input* as medidas estatísticas e as bandas, a imagem foi segmentada em polígonos por meio da ferramenta *Object Based Image Segmentation*, nesta etapa foi realizada uma segmentação “grosseira”, com a definição de um *bandwidth* de maior valor. Além disso, também foram associados aos objetos a média e o desvio padrão dos parâmetros morfométricos, com o intuito de se estabelecer regras para a seleção de áreas não afetadas pelo processo e removê-las da análise. Assim, após esta

etapa, novas segmentações foram realizadas, gerando objetos com *bandwith* de menor valor e repetindo todo o processo até que fosse atingido o menor refinamento possível do inventário.

A partir do inventário gerado e das cicatrizes desenhadas manualmente na área teste, foi utilizada uma matriz de confusão (*Module Confusion Matrix*), ou matriz de erro, para verificar a acurácia da classificação. Após a validação foram realizadas correções manuais, removendo do inventário final falsos e falsos negativos, além de serem desenhadas cicatrizes não identificadas.

Por fim, a ferramenta *Geomorphons* (Robaina et al., 2018) foi utilizada como base para separação manual dos processos de escorregamentos rasos e corridas de detritos (Figura 2), visto que a mesma separa as categorias de forma do terreno, com base na similaridade de morfologia e textura das cicatrizes.

Figura 2: Antes e depois das alterações manuais

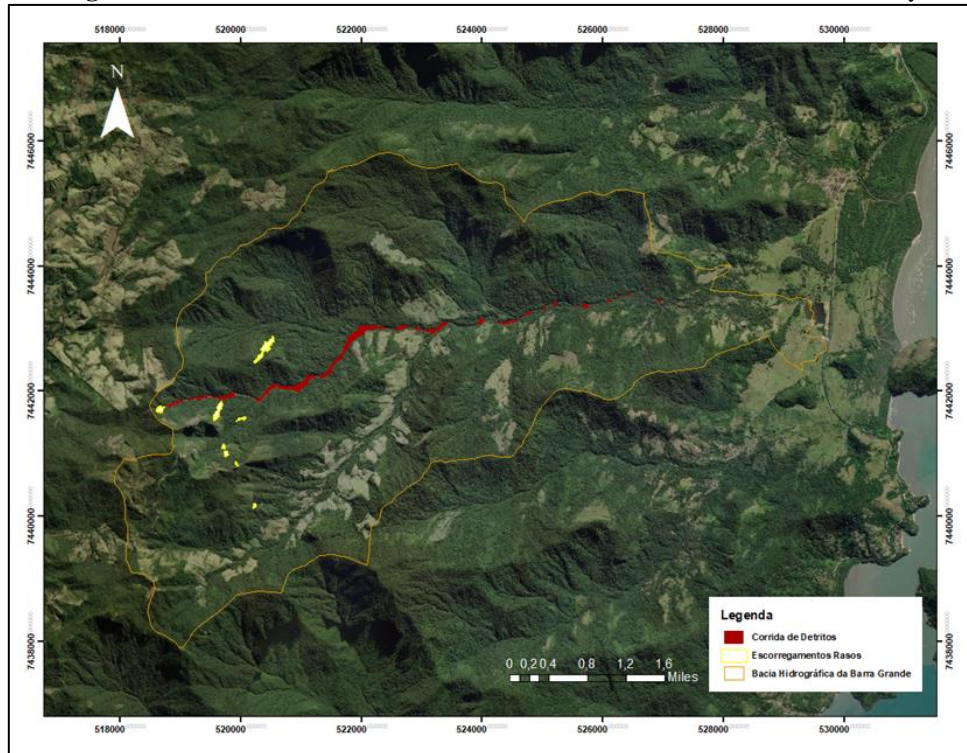


Fonte: Elaboração própria, 2024.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Bacia Hidrográfica da Barra Grande delimitada para a geração do inventário possui uma área de 43 km². No inventário final (Figura 3) foi identificada uma área afetada de 0,37 km², abrangendo 7 cicatrizes de escorregamentos rasos, que atingiram uma área de 0,07 Km², e uma corrida de detritos, com área afetada de 0,3 km².

Figura 3: Inventário de movimentos de massa da Bacia da Barra Grande, Paraty



Fonte: Elaboração própria, 2024

Os escorregamentos rasos identificados ocorreram em encostas com declividade média de 34° , sendo que 36% dos escorregamentos se concentram entre 30° e 35° (Tabela 1). Já a área afetada por corrida de detritos possui uma declividade média de 10° , com 81% da área total abaixo de 15° . Trabalhos similares realizados na Serra do Mar, como Santos (2009), Lopes (2006) e Nery (2009) apontam uma predominância e maior suscetibilidade de escorregamentos rasos nas declividades entre 30° a 40° , assim como um declínio a partir das classes $>40^\circ$.

O aspecto médio, ou seja, a orientação das encostas, das áreas afetadas por escorregamentos foi de 152° , com predomínio da orientação Sul-Sudeste, enquanto o predomínio em área de corrida foi entre Leste-Nordeste. Nery (2009) e Vieira (2007), na Serra do Mar, encontraram a maioria das cicatrizes nos quadrantes Sul-Sudeste, mostrando uma maior frequência nesse padrão.

Em relação às curvaturas planas (C. Plana) e de perfil (C. Perfil), as médias apresentadas pelas corridas de detritos e escorregamentos rasos demonstram uma predominância da curvatura convexas no ponto de vista tridimensional, ou seja, de perfil, assim como Santos (2009), em Cubatão, São Paulo e Nery (2009), na Bacia da Ultrafértil, São Paulo. Fernandes et al. (2001) também verificaram que as cicatrizes de

escorregamentos encontradas em outros setores da Serra do Mar foram predominantes nas curvaturas convexas, mesmo apresentando um potencial de escorregamentos maior nas porções côncavas.

Por sua vez, o Índice Topográfico de Umidade (TWI), que se refere à distribuição de zonas com mais incidência de saturação hídrica, apresentou uma média de 6,16 para os escorregamentos rasos e 12,2 para as corridas de detritos. Na Serra do Mar paranaense, Silveira (2013) também encontrou valores superiores a 12 em áreas afetadas por corrida de detritos. O trabalho realizado por Bonini (2022), no Planalto de Paraitinga, São Paulo, indicou que os setores das encostas com TWI menor do que 7,4 estão associadas a maiores níveis de suscetibilidade a escorregamentos rasos.

Tabela 1: Valores médios dos parâmetros Morfométricos

Processos Geomorfológicos	Aspecto	Índice Topográfico de Umidade	Declividade	C. Plana	C. Perfil
Escorregamentos rasos	152	6,16	34,02	-0,001	-0,0001
Corrida de detritos	85	12,26	10,21	-0,011	-0,0005

Fonte: Elaboração Própria, 2024

Em relação à validação do inventário, a classificação semiautomática do inventário resultou em uma acurácia de 0,97 %. Ao todo, foram identificadas 242 células como falsos negativos e 3.701 como falsos positivos. Por outro lado, os verdadeiros positivos correspondem a 6.402 células, enquanto 151.274 células foram identificadas como verdadeiros negativos.

Tabela 1: Acurácia do inventário de movimentos de massa

Taxa de acurácia	Falsos negativos	Falsos positivos	Verdadeiros positivos	Verdadeiros negativos
0,975603	242	3701	6402	151274

Fonte: Elaboração Própria, 2024

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia aplicada se mostrou eficiente e com um alto nível de acurácia para a produção de inventários de movimentos de massa, utilizando softwares de livre acesso (SAGA), além de imagens de satélite que podem ser acessadas gratuitamente e sem a necessidade de máquinas especializadas para o geoprocessamento. A metodologia também se demonstra de fácil reprodução, podendo ser aplicada em outras áreas de estudo e em diferentes temporalidades.

Sendo assim, é necessário reafirmar a importância de pesquisas e trabalhos que documentam novos métodos de aplicação, assim como a produção de materiais de livre acesso, facilitando e somando trabalhos de órgãos públicos, como a Defesa Civil, em áreas que são constantemente atingidas por processos hidrogeomorfológicos. Os inventários de movimentos de massa são um passo preliminar e importante na construção de mapeamentos de suscetibilidade de alta acurácia, por serem elaborados a partir de eventos passados.

Palavras-chave: Inventário de Movimentos de Massa; Escorregamentos Rasos; Corrida de Detritos; Costa Verde.

REFERÊNCIAS

- AMATYA, P. et al. Landslide mapping using object-based image analysis and open source tools. *Engineering Geology*, v. **282**, p. **106000**, mar. 2021. DOI:10.1016/j.enggeo. 2021.106000
- BEVEN, K.J.; KIRKBY, M.J. 1979. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrological Science Bulletin*, **24(1)**: **43-69**. <https://doi.org/10.1080/02626667909491834>
- BONINI, J. E., VIEIRA, B. C., ROSS, J. L. S., BATEIRA, C. V. de M. & MARTINS, T. D. (2022). **Análise de parâmetros geomorfológicos na suscetibilidade a escorregamentos no sudeste brasileiro**. *Derbyana*, *43*, e764. <https://doi.org/10.14295/derb.v43.764>
- CRUDEN, D. M.; Varnes, D. J. **Landslide types and processes**. Em: Transportation research board national academy of sciences (Ed.) *Landslides: Investigation and Mitigation*. [s.l: s.n.]. p. 1-46.
- DANTAS, Marcelo Eduardo. **Geomorfologia Do Estado Do Rio de Janeiro**. 2000. CPRM - Serviço Geológico Brasileiro, Dec. 2000.
- FERNANDES, N. F.; GUIMARÃES, R.F.; GOMES, R.A.T.; VIEIRA, B.C.; MONTGOMERY D.R.; GREENBERG, H. Condicionantes Geomorfológicos dos Deslizamentos nas Encostas: Avaliação de Metodologias e Aplicação de Modelo de Previsão de Áreas Suscetíveis. In: **Revista Brasileira de Geomorfologia**, **V.2; Nº1; p.51-71.2001;**
- G1. **Deslizamento de terra mata sete pessoas da mesma família em Paraty (RJ)**. Disponível em: <<https://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2022/04/02/deslizamento-de-terra-mata-sete-pessoas-da-mesma-familia-em-paraty-rj.ghtml>>. Acesso em: 8 jul. 2024.

GUZZETTI, F., Cardinali, M., Reichenbach, P., Carrara, A., 2000. **Comparing landslide maps: a case study in the upper Tiber River Basin, Central Italy**. *Environmental Management* 25 (3), 247–363

GUZZETTI, F. et al. **Landslide inventory maps: New tools for an old problem**. *Earth-Science Reviews*, v. 112, n. 1–2, p. 42–66, 1 abr. 2012. DOI:10.1016/J.EARSCIREV.2012.02.001

LOPES, E. S. S. **Modelagem Espacial Dinâmica em Sistema de Informação Geográfica: Uma Aplicação ao Estudo de Movimentos de Massa em Uma Região da Serra do Mar Paulista**. Tese (Doutorado em Geologia) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 314p. 2006

NERY, T. D.; VIEIRA, B. C. **Caracterização dos parâmetros topográficos da bacia da Ultrafértil: Subsídio para avaliação dos escorregamentos rasos**. In: XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2009.

PEDROSA, M. G. A.; SOARES, M. M.; LACERDA, W. A. (1988) **Mechanism of movement in colluvial slopes in Rio de Janeiro**. 5th International Symposium on Landslides. Balkema, Lausanne: 1211-1216

ReDUS. **Redus.org.br**. Disponível em: <<https://www.redus.org.br/rio-inclusivo-e-sustentavel/noticias>>. Acesso em: 11 ago. 2024

ROBAINA, L. E.; TRENTIN, R. **O uso de geomorphons para análise do relevo**. 2018. Disponível em: <<https://www.sinageo.org.br/2018/trabalhos/9/9-116-356.html>>. Acesso em: 5 ago. 2024

SANTOS, W. & VIEIRA, B. C. 2009. **Influência de fatores topográficos na distribuição de escorregamentos translacionais rasos na Serra do Mar, Cubatão (SP)**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 13, VIÇOSA, MG. Anais. 2009.

SILVA, Luiz Guilherme Almeida Eirado. **A interação entre os eventos tectônicos e a evolução geomorfológica da Serra da Bocaina, Sudeste do Brasil** / Luiz Guilherme Almeida Eirado Silva, 2006.
SILVEIRA, C. T.; FIORI, A. P.; FERREIRA, A. M.; GÓIS, J. R. de; MIO, G.; SILVEIRA, R. M. P.; MASSULINI, N. E. B.; LEONARDI, T. M. H. Emprego de atributos topográficos no mapeamento da susceptibilidade a processos geoambientais na bacia do rio Jacaréí, Paraná. **Sociedade & Natureza**, [S. l.], v. 25, n. 3, 2013. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/sociedadnatureza/article/view/21016>. Acesso em: 19 ago. 2024.

STEHMAN, Stephen V. Selecting and interpreting measures of thematic classification accuracy. **Remote Sensing of Environment**, v. 62, n. 1, p. 77–89, 1997. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425797000837?via%3Dihub>>. Acesso em: 11 ago. 2024.

VARNES, D.J. (1978) **Slope movement types and processes**. In: Schuster, R.L. and Krizek, R.J., Eds., *Landslides, Analysis and Control*, Transportation Research Board, Special Report No. 176, National Academy of Sciences, 11-33.

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*, v. 29, p. 161-174. 2015