

Contribuições Sobre Previsão de Fluxos de Detritos

Danúbia Teixeira Silva

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, danubia.teixeira@hotmail.com

Anna Laura Lopes da Silva Nunes

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, alaura@coc.ufrj.

RESUMO: Os fluxos de detritos são conhecidos como um dos tipos de movimentos de massa mais catastróficos da natureza, em função da rapidez, energia e volume elevados. A análise dos agentes condicionantes e deflagradores desse movimento de massa proporciona a apreciação de cada um dos fatores envolvidos nos processos de instabilização de encostas, permitindo a obtenção de resultados de interesse, no que diz respeito ao seu modo de atuação. Este trabalho tem por objetivo apresentar uma nova técnica de avaliação e previsão de fluxos de detritos. Consiste na geração de mapas de suscetibilidade natural a fluxos de detritos por meio de geotecnologias, associadas aos dados de sensoriamento remoto. A unidade de análise selecionada é a bacia do Córrego D'Antas, localizada na Região Serrana do Rio de Janeiro e que foi muito afetada por fluxos de detritos deflagrados após o evento extraordinário de precipitações em Janeiro de 2011. A nova técnica foi aplicada ao caso de estudo e os resultados obtidos foram comparados com as características reais do evento, indicando análises consistentes, que corroboram o emprego desta metodologia para análises de risco e, conseqüentemente, avaliação de cenários de ocupação e projetos de estruturas de convivência e mitigação de fluxos de detritos.

PALAVRAS-CHAVE: Fluxos de Detritos, Geotecnologias, Sensoriamento Remoto, Suscetibilidade Natural.

1 INTRODUÇÃO

Os movimentos de massa são processos naturais ou induzidos, classificados de acordo com o tipo e granulometria envolvida em sua matriz, seguindo trajetórias que dependem de um conjunto de fatores que caracterizam o movimento, resultando em riscos, perdas e conseqüências socioeconômicas de grande magnitude.

Dentre os movimentos de massa o Debris Flow, conhecido como Fluxo de Detritos, destaca-se por resultar em um movimento muito complexo, ocorrendo de forma súbita e com potencial suficiente para provocar danos catastróficos. É deflagrado geralmente por fortes precipitações, em curtos períodos de tempo ou por precipitações leves em períodos prolongados, ou ainda por sismos.

Nas regiões tropicais, a forma inadequada de se reportar os fluxos de detritos, a falta de padronização das informações ou inexistência

e até mesmo o registro de apenas grandes movimentos justificam a importância de caracterizar o comportamento de tal evento, que comumente é deflagrado por causas típicas de cada região. No Brasil, as causas desse movimento de massa são em sua maioria associadas a grandes precipitações ou a precipitações finas de longa duração.

Durante muito tempo os casos mais relevante e tomado como referência no Brasil eram os da região serrana de Cubatão em São Paulo e Serra das Araras no Rio de Janeiro, no ano de 1967 em que ocorreram precipitações atípicas. Mas em janeiro de 2011, uma tragédia na Região serrana do Rio de Janeiro, deflagrada por uma intensa precipitação de chuvas que resultaram em temporais, superou qualquer evento ocorrido em dimensões e dados catastróficos. Segundo NUNES & SAYÃO (2014) as vítimas fatais oficiais chegaram a 912, mas estima-se que este número está longe de representar a realidade, devido ao fato de famílias inteiras

terem desaparecido.

Os fenômenos de instabilização de encostas são condicionados por muitos fatores, como o clima, a litologia e as estruturas de arcabouço rochoso, a morfologia, a ação do homem e outros. A análise dos condicionantes geológicos e geotécnicos envolvidos em movimentos de massa proporciona a apreciação de cada um dos fatores envolvidos nos processos de instabilização, permitindo uma melhor compreensão em relação ao modo de atuação destes fatores.

A previsão da ocorrência dos escorregamentos vem assumindo importância crescente na literatura geotécnica, com diferentes concepções do problema e formas de investigação. Grande parte das metodologias propostas visa a definição de áreas mais susceptíveis à ocorrência do processo e a caracterização do risco envolvido, englobando tanto a possibilidade de ocorrência do processo quanto os danos decorrentes.

A identificação e o mapeamento das áreas com predisposição à ocorrência de processos naturais catastróficos, que resultam em danos e ameaça a sociedade, é uma demanda de elevada importância, principalmente pelo papel que exerce em situações de planejamento e gestão ambiental, territorial e de riscos.

2 FLUXO DE DETRITOS

2.1 Agentes Condicionantes e Deflagradores

Os fatores de influência para fluxos de detritos são numerosos e complexos, mas em sua maioria incluem estrutura geológica, topografia, características do solo e da vegetação, hidrologia, intensidade de precipitações e as atividades humanas no local.

Os fatores geológicos que condicionam os movimentos de massa levam em conta o tipo e a distribuição dos materiais que compõem o substrato das encostas, que apresentam diferentes comportamentos quanto à resistência ao cisalhamento, permeabilidade e outras características. Frente aos fenômenos de instabilidade, cada litologia comporta-se de forma diferente. Assim, os materiais do substrato podem ser divididos em maciços

rochosos e maciços terrosos, abrangendo solos, rochas, depósitos e estruturas geológicas, com características geotécnicas específicas.

De acordo com Motta (2014), existe uma combinação crítica de fatores naturais e antropogênicos a qual dá origem ao processo de fluxo de detritos e a relação entre eles respondem por controlar a probabilidade, a duração e a magnitude deste fenômeno. Neste contexto, os movimentos são causados particularmente por dois fatores:

1. Fatores condicionantes, que são aqueles capazes de reduzir a resistência do terreno, deixando-o suscetível ao movimento sem, no entanto, deflagrá-lo, se analisado de forma isolada. Observa-se que se faz necessário uma combinação de condições para que o movimento se inicie, incluindo:

- Camadas finas de solo de menor resistência, de origem coluvionar ou de intemperismo da rocha;
- Superfícies rochosas expostas, com juntas e falhas;
- Vegetação, pobre e esparsa, expondo encostas ao intemperismo;
- Ruptura de encostas íngremes, induzindo subsequente movimentos;
- Condições climáticas extremas;
- Drenagem ineficiente;
- Ocupação desordenada e ilegal de encostas.

2. Fatores deflagradores, que por si só iniciam o movimento:

- Alteração dos parâmetros de resistência dos materiais, como a diminuição do efeito de coesão aparente (sucção) em decorrência do aumento da umidade, e perda da cimentação por dissolução;
- Aumento do peso específico dos materiais da encosta, aumentando as solicitações externas;
- Desenvolvimento de poropressões positivas no solo, de subpressões nas discontinuidades rochosas e das forças de percolação;
- Alteração do perfil da encosta por erosão dos materiais mais expostos.

2.2 Identificação e Análise de Área de Risco

Os métodos para analisar os riscos de fluxos de detritos variam de país para país, de região para região e de análise para análise. Alguns países têm desenvolvido roteiros de como qualificar e

mapear riscos de fluxo de detritos.

Segundo Jakob (2005) um roteiro-guia para reconhecer e analisar os riscos para fluxos de detritos consiste em:

- Reconhecimento do risco;
- Estimativa da probabilidade de ocorrer;
- Estimativa da magnitude e da intensidade;
- Produção de fluxo de detritos e relação frequência-magnitude;
- Estimativa da magnitude e da intensidade do fluxo de detritos;
- Apresentação dos riscos por meio de mapas e descrição das análises;

No campo, os possíveis sinais de atividade de fluxos de detritos na zona de transporte incluem: canal bem definido, presença de rastros de lama com pedregulhos e cicatriz de impacto de detritos, bem como a presença de grandes blocos de rochas e de troncos de árvores que foram arrancados e consequentemente foram ficando no caminho.

Os sinais de atividade de fluxo de detritos na área de deposição são reconhecidos por: falta de triagem ou imbricação, a angularidade dos pedregulhos, presença de troncos de árvores enterradas e gradação inversa de sedimentos.

As fotografias aéreas e as imagens de satélite são ferramentas indispensáveis no reconhecimento e análise dos danos provocados por fluxos de detritos. Diversos estudos têm utilizado o potencial de ferramentas de Sensoriamento Remoto e Sistema de Informações Geográficas (SIG) para identificar, modelar e analisar movimentos de massa através de técnicas de zoneamento de instabilidade de encostas.

No âmbito das geotecnologias, o sensoriamento remoto insere-se, como indica a própria nomenclatura, na perspectiva da obtenção de dados por meio de sensores, sem que haja contato físico direto com o objeto de estudo. Esse processo encontra-se esquematicamente exposto na Figura 1.

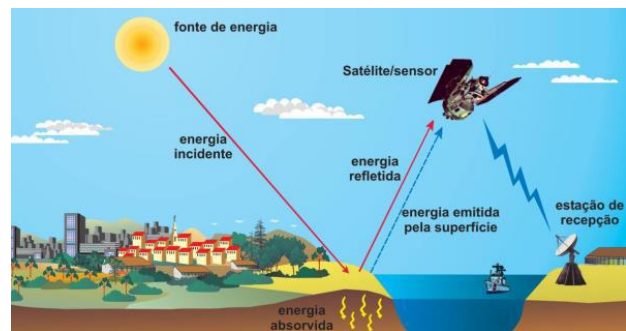


Figura 1. Sensoriamento Remoto Aplicado a Análise da Paisagem (Florenzano, 2013).

3 METODOLOGIA DE ESTUDO

Consiste na geração do mapa de suscetibilidade natural para fluxos de detritos a partir de um inventário de cicatrizes e de mapas temáticos, possibilitando a correlação de fatores condicionantes com os eventos ocorridos.

Para a obtenção do mapa de suscetibilidade natural a fluxos de detritos foi necessária a reunião de algumas informações tais como:

- O reconhecimento e mapeamento das áreas em que já ocorreram fluxos de detritos em uma base de dados;
- Planos de informação para criação de mapas temáticos;
- Geração dos mapas de fatores;
- Ponderação dos fatores por meio da Analysis Hierarchy Process (AHP).

A padronização dos planos de informação foi necessária para tornar estes dados comparáveis, assim como a ponderação de pesos foi fundamental para tornar possível o cruzamento de todos os fatores e, consequentemente, a produção do mapa de suscetibilidade natural da área.

3.1 Mapa de inventário de cicatrizes de fluxos de detritos

O mapa de inventário foi criado a partir do reconhecimento e mapeamento de cicatrizes, deixadas pelos eventos de fluxos de detritos, obtidas através de interpretação de imagem de satélite disponibilizada pelo Google Earth Pro e interpretação de fotografias aéreas do local.

A criação de um mapa de inventário permite o monitoramento de eventos de fluxos de detritos nas áreas atingidas e,

consequentemente, a formação de uma base de dados para este tipo de evento, com a finalidade de registrar as variáveis associadas, aprimorar o conhecimento sobre os mecanismos do movimento e gerar dados de análise, visando à previsão de eventos futuros.

3.2 Geração dos planos de informação

Os planos de informação simulam a realidade, fornecendo um modelo conceitual da área de estudo. Eles são gerados a partir de análise de dados em ambiente SIG e são obtidos de banco de dados tais como o do Projeto Topodata do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e do geobank do serviço Geológico do Brasil – CPRM. A Tabela 1 mostra os planos de informação utilizados para a criação dos mapas temáticos da área de estudo, o banco de dados de onde foram obtidos e os respectivos formatos.

Tabela 1. Características dos Planos de Informação.

Plano de informação	Fonte	Formato
Altimetria	Folha 22S435_ZN - TOPODATA	Raster, resolução de 30m
Curvatura Horizontal	Folha 22S435_HN - TOPODATA	Raster, resolução de 30m
Curvatura Vertical	Folha 22S435_HN - TOPODATA	Raster, resolução de 30m
Geológico	Folha Nova Friburgo – GEOBANK	Vetorial 1:100.000

A partir dos planos de informação foram criados os seguintes mapas temáticos no formato *raster*:

- Mapa de Altimetria;
- Mapa de Declividade;
- Mapa de Curvatura Horizontal;
- Mapa de curvatura Vertical;
- Mapa Geológico.

3.3 Tabulação cruzada

A tabulação cruzada busca correlacionar as áreas em que já ocorreram fluxos de detritos, com os diferentes condicionantes geológico–geomorfológicos definidos para a área de estudo.

O método foi realizado automaticamente com o *software* ArcGis, sendo necessário padronizar todos os mapas temáticos no formato *raster*, georreferenciados, com o mesmo número de linhas e colunas, a mesma resolução espacial e escala.

Os resultados obtidos com a tabulação cruzada foram utilizados posteriormente para a padronização dos mapas de fatores.

3.3 Padronização dos mapas temáticos

Para a geração dos mapas de fatores, foi necessário reduzir todos os mapas temáticos a uma escala de valores para possibilitar a comparação entre eles. Os fatores foram classificados a partir da função linear fuzzy, que substitui as rigorosas definições de classes “sim” e “não” por uma faixa de valores de 0 a 1, na qual pode ser alcançado um determinado grau de pertinência de classe.

A lógica *fuzzy* é uma aproximação matemática para quantificar declarações incertas. Por meio das funções de pertinência, é possível formular regras, segundo as quais podem ser delimitadas classes. Existem várias funções que podem ser utilizadas para determinar o valor de pertinência, como a linear, a sigmoide e a quadrática (SILVA, 2011).

3.4 Definição dos pesos utilizando a técnica AHP

Buscando determinar um conjunto ótimo de pesos para a combinação dos diferentes mapas de fatores que condicionam os fluxos de detritos da área de estudo, foi avaliada a contribuição relativa de cada fator condicionante, utilizando a técnica de suporte à decisão denominada *Analysis Hierarchy Process* (AHP), desenvolvida por Saaty em 1987 e baseada na lógica da comparação pareada. A técnica AHP tem uma base matemática que permite organizar e avaliar a importância relativa entre critérios e medir a consistência dos julgamentos.

Os diferentes fatores são comparados dois a dois e um critério de importância relativa é atribuído ao relacionamento entre estes

fatores, conforme uma escala pré-definida (Tabela 2).

Tabela 2. Escala de julgamento de importância do método AHP (SAATY, 1990).

Valores	Termos verbais	Explicação
1	Igual importância	Duas alternativas contribuem igualmente para o objetivo
3	Moderadamente mais importante	Experiência e julgamento favorecem levemente uma alternativa em relação a outra.
5	Fortemente mais importante	Experiência e julgamento favorecem fortemente uma alternativa em relação a outra.
7	Muito fortemente mais importante	Alternativa fortemente favorecida em relação a outra e sua dominância é demonstrada na prática.
9	Extremamente mais importante	A evidência favorece uma alternativa em relação a outra, com grau de certeza mais elevado.
2, 4, 6 e 8	Valores importantes intermediários	Quando se procura uma condição intermediária entre duas definições.

Portanto, na comparação par a par os pesos dos critérios são definidos conforme o julgamento do decisor e com base na escala fundamental de SAATY. A Equação 1 mostra a forma de estruturação da matriz de decisão, conforme propõe o método AHP:

$$A_{n \times n} = \begin{pmatrix} 1 & a_{21} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} = \frac{1}{a_{12}} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{n1} = \frac{1}{a_{1n}} & a_{n2} = \frac{1}{a_{2n}} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix} \quad (1)$$

Em seguida, calcula-se os autovetores da matriz de decisão. O autovetor normalizado, que

corresponde ao autovalor máximo ($\lambda_{\max}$), fornece a hierarquia ou a ordem de prioridade dos critérios comparados.

3. 5 Geração do mapa de suscetibilidade

Para a geração do mapa de suscetibilidade natural foi realizada uma álgebra de mapas através do módulo weigthed overlay, do software ArcGIS que realiza uma combinação dos mapas de fatores com os respectivos pesos ponderados pelo método AHP.

4 CASO DE ESTUDO: BACIA DO CÓRREGO D'ANTAS

A bacia do córrego D'Antas está localizada na Cidade de Nova Friburgo, na região serrana do estado do Rio de Janeiro, Brasil, com uma área de 53 km².

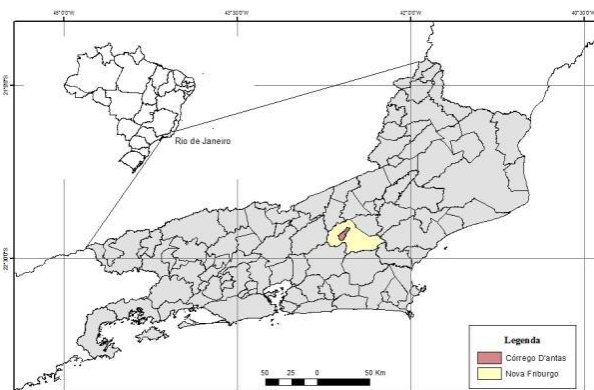


Figura 2. Localização da Bacia do Córrego D'Antas.

As intensas precipitações dos dias 11 e 12 de janeiro de 2011 que atingiram a região serrana fluminense deram origem aos aumentos de subpressão resultantes da percolação de água nas fraturas e provocaram o deslocamento de grandes volumes de rocha, que iniciaram fluxos de detritos observados nesta área.

A partir da correlação dos fatores condicionantes e do inventário de cicatrizes referente a ocorrência de fluxos de detritos, foi possível realizar a geração do mapa de suscetibilidade natural a fluxos de detritos da bacia do Córrego D'Antas.

O mapa de inventário (Figura 3), contendo a informação cadastral de 30 fluxos de detritos levantados a partir das imagens de satélite do

software Google Earth Pro, datadas de 19/01/2011 e posteriormente importados para o software ArcGis, foi usado para ponderar as classes de cada um dos mapas temáticos, a partir do método da tabulação cruzada.

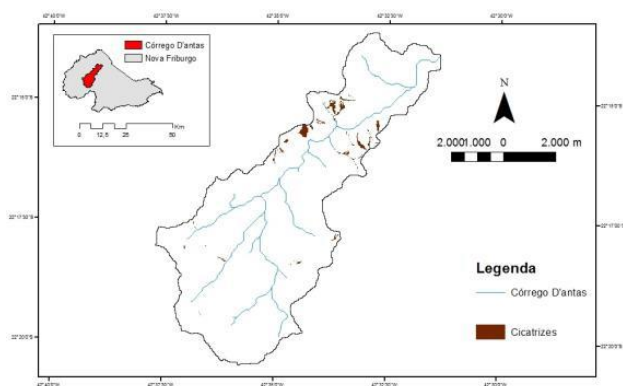


Figura 3. Mapa de inventário de cicatrizes de fluxo de detritos na Bacia do Córrego D'Antas.

A Figura 4 mostra o mapa das áreas naturalmente susceptíveis a fluxos de detritos para a área de estudo a partir da metodologia proposta, onde as áreas estão escalonadas de 0 a 1, ou seja, de menos a mais suscetíveis ao movimento.

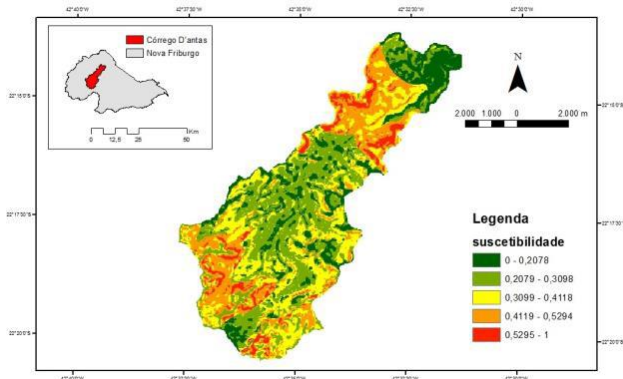


Figura 4. Mapa de áreas suscetíveis a fluxos de detritos.

As equações e expressões matemáticas devem ser justificadas à esquerda e numeradas sequencialmente, com o número da equação justificado à direita e entre parêntesis, utilizando numeração arábica.

O mapa foi obtido a partir dos mapas temáticos escalonados pela função linear fuzzy e, em seguida, cada mapa foi ponderado pelo método AHP, gerando os mapas de fatores que serviram de parâmetros de entrada para a ferramenta weighted overlay. Esta ferramenta sobrepõe os layers (mapas de fatores), fornecendo como

dado de saída um mapa de áreas susceptíveis.

A combinação dos atributos: altitude, declividade, curvatura vertical, curvatura horizontal e geologia resultou no mapa de suscetibilidade natural a fluxo de detritos que comparado ao inventário das cicatrizes mapeadas na data de 19/01/2011, demonstrou qualidade satisfatória. As Figuras 5 e 6 mostram as áreas mapeadas como suscetíveis ao serem sobrepostas no software Google Earth corroborando com as cicatrizes inventariadas.

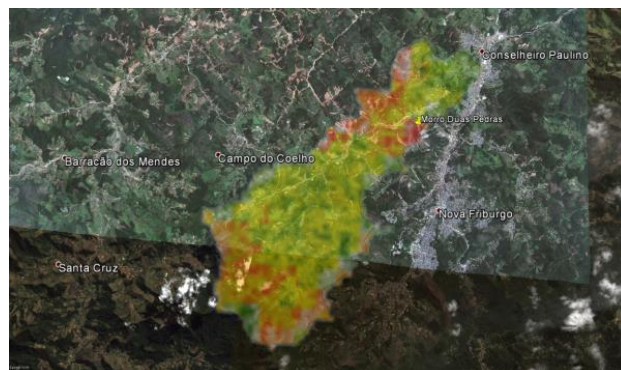


Figura 5. Sobreposição do mapa das áreas suscetíveis a fluxo de detritos no Google Earth.



Figura 6. Ênfase da sobreposição do mapa das áreas suscetíveis a fluxo de detritos da Bacia do Córrego D'Antas no Google Earth.

CONCLUSÕES

O uso de geotecnologia para a detecção de áreas suscetíveis a fluxos de detritos é ferramenta importante para a aplicação de medidas de mitigação e convivência em áreas de risco. As etapas de geração dos mapas possibilitam melhor compreensão dos condicionantes geológico-geotécnicos dos movimentos de massa.

A nova metodologia elaborada é capaz de representar os eventos ocorridos na Bacia do Córrego D'Antas com fidelidade e consistência,

sugerindo sua utilização para detecção de áreas suscetíveis a movimentos de massa, principalmente fluxos de detritos.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem ao Programa de Engenharia Civil – COPPE/UFRJ. Agradecem ainda ao CNPq pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- Florenzano, T.G. (2013) Iniciação em sensoriamento remoto, 3ª ed. São Paulo, Oficina de Textos.
- Jakob, M. (2005) Debris flow hazard analysis, Debris Flow Hazards and Related Phenomena, Praxis, Cap.17.
- Nunes, A.L.L.S.; Sayão, A.S.F.J. (2014) Debris Flows e Técnicas de Mitigação e Convivência, 14CNG- Congresso nacional de Geotecnia. Geotecnia nas infraestruturas, Covilhã, Portugal, pp. 83 – 123.
- Motta, H.P.G (2014) Avaliação de corridas de detritos para a previsão de eventos futuro, Tese de Doutorado, Programa de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 263 p.
- Silva, M.A., Neto, L.B., Sieira, A. C.C.F., Feijó, R.L. (2011) Previsão do risco de escorregamento de talude a partir de um modelo fuzzy, Ver. Int. Mét. Num. Cál. Dis. Ing. V. 27.
- Saaty, T.L. (1990) How to make a decision: The analytic hierarchy process, European Journal of operational research, Amsterdam, v.48, p 9-26.