

## **ANÁLISE DE QUEDAS DE BLOCOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIACHO TRAPIÁ/CEARÁ/BRASIL**

ADISSON SOUZA TAVARES<sup>1</sup>; FREDERICO DE HOLANDA BASTOS<sup>\*2</sup>;  
YURI DA SILVA BELARMINO<sup>3</sup>;

<sup>1</sup>Bacharel e mestrando em Geografia, UECE, Fortaleza-CE, adisson.souza17@gmail.com;

<sup>2</sup>Dr. em Geografia, Prof. Adjunto, CCT, UECE, Fortaleza-CE, fred.holanda@uece.br;

<sup>3</sup>Licenciado e mestrando em Geografia, UECE, Fortaleza-CE, yuri.belarmino@aluno.uece.br

Apresentado no  
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2018  
21 a 24 de agosto de 2018 – Maceió-AL, Brasil

**RESUMO:** Este artigo busca analisar quedas de blocos em vertentes, tendo como recorte espacial a bacia do riacho Trapiá, situada no sul da Serra da Meruoca, município de Sobral, Ceará, através da aplicação da modelagem de previsão destes processos, auxiliada pela extensão de GIS Rockfall Analyst. Os caminhos metodológicos foram: levantamento bibliográfico e cartográfico, técnicas de geoprocessamento para análise das quedas de blocos e interpretação de mapas, pesquisa de campo para validação dos resultados e identificação das vertentes de origem de blocos, finalizando com a integralização dos dados obtidos. A partir da modelagem, percebe-se que a maioria dos locais de concentração de quedas de blocos têm perigo médio (66%) a perigo alto (83%) de sua deflagração. Este estudo explica o método matemático determinístico como caminho para análise de áreas perigosas, e também o modo como o geoprocessamento pode servir para diversos estudos sob o viés da modelagem de ocorrência de fenômenos naturais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Geotecnologias, modelagem, movimentos de massa, geomorfologia.

### **ROCKFALL ANALYSIS IN RIACHO TRAPIÁ'S WATERSHED / CEARÁ / BRAZIL**

**ABSTRACT:** This article analyzes rockfall processes in slopes, having as a spatial clipping the Riacho Trapiá's basin, located in the south of Meruoca's Massif, in the municipality of Sobral, Ceará, through the application of the prediction modeling of these processes, helped by a GIS extension called Rockfall Analyst. The methodological approaches were: bibliographical and cartographic survey, geoprocessing techniques for the analysis of rockfalls and interpretation of maps, field research for results validation and identification of the slopes of blocks origins and obtained data compilation. From the modeling, it is noticed that most sites of concentration of rockfalls have average danger (66%) to high (83%) of the deflagrations. This study explains the deterministic mathematical method as a way to analyze dangerous areas, as well as the way in which geoprocessing can help several studies under modeling of natural phenomena.

**KEY WORDS:** Geotechnologies, modeling, mass movement, geomorphology.

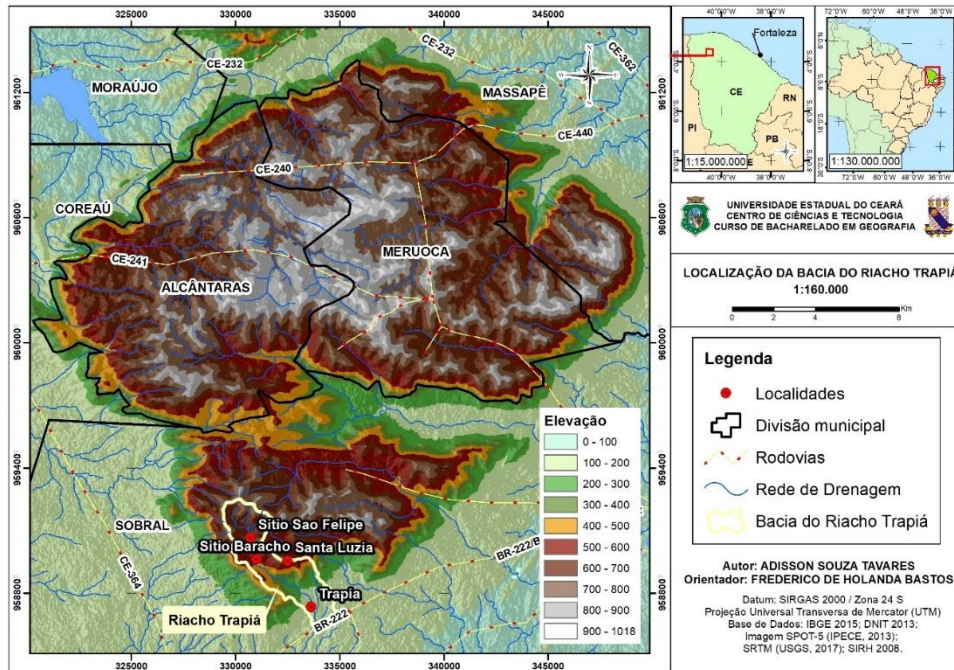
### **INTRODUÇÃO**

As quedas de blocos são tipos de movimentos gravitacionais que se sucedem em encostas com declividades elevadas, com um valor entre 45° e 90°, e em áreas com ausência de formação dos mantos de intemperismo, onde a ação erosiva é proporcional ao aumento da inclinação da vertente. Segundo Bastos (2012), as quedas são movimentos de massa que podem ser variados e provocados por fatores distintos, tais como o ângulo da declividade da encosta, o tamanho e a forma das juntas das rochas, tipos de rocha e deformação, e ainda pela cobertura vegetal. Somado a isto, também podem haver deflagros provenientes de eventos sísmicos.

Blocos rochosos existentes em vertentes íngremes podem trazer risco às populações alocadas na base de encostas, pois a sua queda constitui um processo de energia cinética de alto poder destrutivo, de difícil previsibilidade temporal, capaz de proporcionar perdas materiais e imateriais.

Logo, para um estudo de caso na finalidade de estabelecer resultados para este artigo, foi delimitada uma microbacia hidrográfica, localizada na vertente sul da serra da Meruoca, situada nos limites do município de Sobral, no norte do Estado do Ceará. A microbacia do riacho Trapiá está distante cerca de 220 quilômetros da capital Fortaleza. (Figura 01).

Figura 01. Mapa de localização da área de estudo.



A altitude da área de estudo varia de 200 a 800 metros, estando situada no setor de sotavento da Serra, ou seja, a área não se configura como um ambiente úmido. O riacho principal que corta a microbacia contribui para o aporte da sub-bacia do rio Jaibas, que delimita a vertente oriental do maciço de Meruoca. Entende-se que a combinação de vertentes íngremes, clima seco, ausência de cobertura vegetal e afloramentos rochosos no local causa situações de perigo geológico ao deflagro de quedas de materiais rochosos.

A bacia hidrográfica foi escolhida como objeto de análise pelo fato de ser um ambiente em que ocorrem inúmeras trocas particulares de matéria e energia, configurando um sistema ambiental. Além disso, a microbacia escolhida é um exemplo didático de ambiente com susceptibilidade à queda de blocos, pois apresenta encostas íngremes e formato de confluência de materiais para o seu interior, incluindo as rochas. Do mesmo modo, há presença de ocupação humana na base destas encostas, que denotam risco à ocorrência dos deflagros sobre a vida da população.

Pensando neste fato, algumas técnicas de geoprocessamento foram desenvolvidas para determinar o caminho e trajetória de materiais rochosos alocados em encostas sob alguns parâmetros, a exemplo da declividade, densidade, rugosidade do terreno, velocidade inicial, altura, fricção, dentre outros. Assim, é utilizada uma ferramenta de geoprocessamento de previsão de quedas de blocos sob o método determinístico de abordagem sobre movimentos de massa (Santos & Tavares, 2011). A extensão de Sistema de Informações Geográficas (SIG) é denominada por Rockfall Analyst, que está acoplada ao software ArcGIS 10.5, versão gratuita para estudantes.

O presente estudo tem como objetivo principal analisar o processo de quedas de blocos em vertentes da Bacia do Riacho Trapiá a partir da modelagem auxiliada pela extensão de GIS denominada Rockfall Analyst (RA).

## MATERIAL E MÉTODOS

O método para realização da aplicação desta pesquisa é caracterizado como determinístico de previsibilidade de quedas de blocos. Estes métodos concretizam análises de trajetórias dos blocos rochosos que permitem determinar os pontos de chegada de massas de rocha, características da trajetória (como peso envolvido e distância percorrida), distribuição do impacto e energia cinética associada à queda

(Chiessi et al., 2010). Esse método é responsável por criar modelos de determinação de trajetórias de blocos e passam a usar o fator topográfico para avaliar as quedas, assim como os fatores condicionantes à instabilização das vertentes (Kozciak, 2005).

Os meios utilizados para atingir os resultados estão divididos em quatro etapas, sendo elas: levantamento bibliográfico e cartográfico, técnicas de geoprocessamento e interpretação de mapas, pesquisa de campo e integralização dos dados obtidos.

A etapa basilar para a construção desta pesquisa se dá através do levantamento bibliográfico e cartográfico. Inicialmente foram buscadas bibliografia que explicassem os mecanismos dos movimentos de quedas de blocos (Lima et al., 2015; Pinto et al., 2013). Também caracterizar o método de abordagem e a utilização de técnicas de geoprocessamento para estudos de susceptibilidade aos fenômenos morfodinâmicos, bem como o funcionamento da ferramenta Rockfall Analyst (Chiessi et al., 2010; Kozciak, 2005; Gomes, 2006; Santos & Tavares, 2011; Lan et al., 2007).

O uso das técnicas de geoprocessamento, como segunda etapa, ajudou na análise dos eventos gravitacionais a partir do tratamento de imagens de satélite, modelos digitais de elevação, bem como pela confecção do mapa básico, e modelagem dos processos, correlacionando as informações espaciais. Alguns arquivos vetoriais e matriciais foram adquiridos por órgãos governamentais tais como IPECE (Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará), USGS (Serviço Geológico Norte-americano), SRH (Secretaria dos Recursos Hídricos do Ceará), FUNCEME (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos) e DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes), todavia outros foram gerados a partir do processamento e vetorização em ambiente SIG. A base cartográfica utilizada e produzida foi configurada em projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), utilizando o Datum SIRGAS 2000/fuso 24. Os arquivos vetoriais raster utilizados como base para elaboração de outros arquivos e mapas foram as imagens de satélite SPOT-5 de resolução espacial de 2,5 metros, e o Modelo Digital de Elevação (MDE) gerado pela imagem Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), adquirida através da página eletrônica Earth Explorer (USGS), de resolução espacial de 30 metros. Os mapas foram elaborados através do software ArcGIS versão 10.5 gratuita para estudantes.

O trabalho de campo na área de estudo serviu para levantar e georreferenciar os principais afloramentos e blocos rochosos que seriam utilizados para a aplicação do modelo de análise do perigo e susceptibilidade às quedas. Os equipamentos auxiliares foram receptores de sinal GPS, câmera fotográfica digital para registro de imagens e computador portátil, além da caderneta de campo que serviu como material de anotação de dados da altitude dos blocos e afloramentos nas encostas.

Como processo final, os dados tiveram de ser organizados e compilados em informações que trariam os principais resultados. Foram unidos os materiais de campo, junto às concepções teóricas e cartografia elaborada para se ter uma análise sobre meio físico, sua influência no comportamento dos movimentos de quedas de blocos e os ambientes que seriam mais susceptíveis ao acontecimento dos fenômenos, a partir da modelagem em ambiente SIG. Por fim, com todas as informações integradas, processadas e organizadas, foi possível realizar a escrita da redação final deste trabalho.

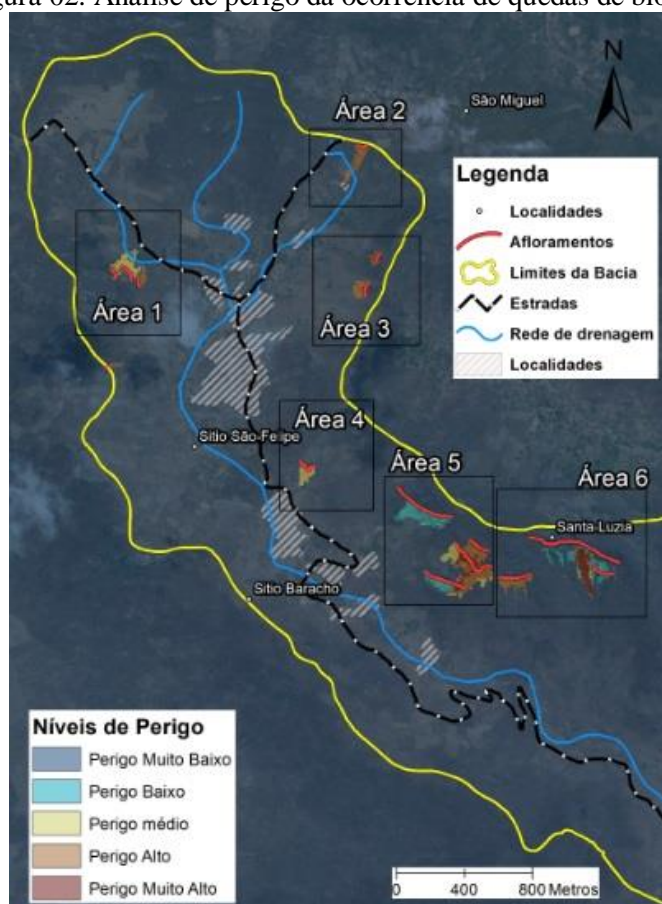
## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

O deflagro de quedas de blocos está submetido à influência de diversos fatores que possuem diferentes funções e dinâmicas, porém se configuram para determinadas consequências sobre o ambiente. Os agentes geológicos, geomorfológicos, pedológicos, fitogeográficos, hidroclimáticos e antrópicos desencadeiam e condicionam os movimentos de massa, implicando na mudança de estrutura dos processos, velocidade e duração (Lima et al., 2015).

Pinto et al. (2013) explicam que os fatores de condicionamento de movimentos gravitacionais de massa são elementos do meio físico ou biótico, que diminuem a resistência do solo ou da rocha, contribuindo para a sua deflagração. Estes agentes fazem parte da dinâmica natural do desenvolvimento das vertentes, contudo podem ser potencializados pelas formas irregulares de uso e ocupação.

Para execução da avaliação do perigo na ferramenta de GIS, foi realizada a delimitação de dezesseis afloramentos como áreas fontes de blocos que apresentassem níveis de periculosidade mais expressivos. Conforme a figura de representação do perigo a seguir (figura 2), muitos locais são classificados com perigo médio a muito alto. Para tanto, a bacia do Trapiá foi dividida em 6 locais de concentração de afloramentos, que foram analisados segundo suas características que proporcionam menores ou maiores susceptibilidades.

Figura 02. Análise de perigo da ocorrência de quedas de blocos.



A área 1 se situa a oeste da Bacia, na localidade do Sítio São Felipe, e suas vertentes trazem perigo alto no topo, porém na base destas, o perigo é classificado como médio. Isto ocorre porque a declividade na área fonte dos blocos fica em torno de  $40^\circ$  e ao longo das encostas ela é suavizada, estando entre  $5$  e  $15^\circ$ . Além disso, a existência de cobertura vegetal densa e baixa altura de queda não favorecem um nível elevado de susceptibilidade à ocorrência de eventos morfodinâmicos.

Na área 2, há perigo alto ao longo de toda as trajetórias. Pode ser justificado pela declividade íngreme, em torno de  $25^\circ$ , como também pela ausência de cobertura vegetal e baixa rugosidade do terreno. Já a área 3, há perigo elevado pelos declives muito íngremes de  $35^\circ$ , porém o alcance dos blocos não é expressivo, por causa da baixa altura de queda e a presença de densidade vegetacional de mata seca. Estes setores estão a leste da Bacia, próximas à cabeceira de drenagem do lado direito do riacho principal.

A área 4 está situada na localidade de Sítio Baracho, sendo a que mais se aproxima do canal principal do Riacho Trapiá, no centro da bacia. Aponta um grau moderado de perigo e um bom alcance dos blocos, devido à declividade em torno de  $25^\circ$  e presença de solo exposto. O que não permite maiores graus de susceptibilidade é a altura envolvida na queda (por volta de 4 metros apenas), que, consequentemente, não traz tanta energia envolvida.

Nas áreas 5 e 6, estando no extremo leste da Bacia, na localidade de Santa Luzia e com altitudes que chegam a 700 metros, há níveis que variam entre baixa e muito alta periculosidade. Onde o perigo é menor, a declividade é muito íngreme (próximo de  $35^\circ$ ), todavia rugosidade alta e vegetação densa são os fatores que diminuem a susceptibilidade e energia e velocidade do processo. Já nas áreas de perigo alto a muito alto, a combinação entre altura elevada de queda (mais de 10 metros), rugosidade baixa com presença de superfícies de afloramentos rochosos e declividades extremamente íngremes de mais de  $50^\circ$ , facilitam deflagros de alta energia envolvida e velocidades que podem atingir 50 m/s.

## CONCLUSÃO

A bacia do Trapiá apresenta muitos locais de perigo médio a alto para ocorrência de quedas de blocos. Logo, 33% entre as áreas de concentração de quedas têm baixo perigo, 66% têm perigo médio, 83% têm algum grau de perigo alto e 33% perigo muito alto. Os fatores que podem interferir nestes dados sobre essas vertentes delimitadas são a cobertura vegetal, a rugosidade do solo, a altura, declividade e velocidade.

Para que estas áreas de susceptibilidade não apresentem alto risco, poderia haver medidas de contenção dos blocos, como redes de captação ou muros de contenção, que funcionem como barreiras para que os materiais não atinjam casas e estradas. Além disso, demais estudos de previsibilidade de processos de quedas em vertentes merecem ser realizados em outros locais do Ceará, principalmente em áreas serranas, para que medidas de segurança sejam adotadas pelo poder público.

Algumas limitações podem comprometer a acurácia da modelagem, como a resolução espacial dos dados e a sua precisão, que devem ser rigorosos. Por fim, mesmo que o RA não considere os deflagros anteriores em certa área, é muito importante realizar análises de quedas que já ocorreram, pois isto auxilia na validação dos dados de análise do perigo.

O presente estudo pode ser base tanto para indicar locais do perigo de quedas de blocos, como para diversos tipos de estudos sobre temáticas geomorfológicas e auxílio do geoprocessamento, a exemplo das análises de dinâmicas de vertentes e cartografia de risco.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à Universidade Estadual do Ceará pelo ambiente de ensino e pesquisa proporcionados, cujo papel no desenvolvimento acadêmico é imprescindível. Agradeço também o apoio dos membros do Laboratório de Estudos Morfoestruturais e Pedológicos (LEMEP), no qual estou vinculado.

## **REFERÊNCIAS**

- Bastos, F. H. Movimento de massa no Maciço de Baturite (CE) e contribuições para estratégia de planejamento ambiental. Fortaleza: UFC, 2012. 257f. Tese (Doutorado de Geografia).
- Chiessi, V.; D'Orefice, M.; Mugnozza, G. S.; Vitale, V.; Cannese, C. Geological, geomechanical and geostatistical assessment of rockfall hazard in San Quirico Village (Abruzzo, Italy). *Geomorphology*, v. 119, p. 147 – 161, 2010.
- Gomes, R. A. T. Modelagem de previsão de movimentos de massa a partir da combinação de modelos de escorregamentos e corridas de massa. Rio de Janeiro: UFRJ, 2006. 102 f. Tese (Doutorado em Geografia).
- Kozciak, S. Análise determinística da estabilidade de vertentes na bacia do Rio Marumbi – Serra do Mar – Paraná. 2005. Curitiba: UFPR, 2005. 141 f. Tese (Doutorado em Geologia).
- Lan H.; Martin, C. D.; Lim, C. H. RockFall analyst: A GIS extension for three-dimensional and spatially distributed rockfall hazard modeling. *Computers and Geosciences*, v. 33, 262 – 279. 2007.
- Lima, D. L. S.; Cordeiro, A. M. N.; Bastos, F. H. Agentes condicionantes e desencadeadores de movimentos gravitacionais de massa na vertente úmida do maciço de Uruburetama, Ceará, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 8, n. 4, p. 1142-1157. 2015.
- Pinto, R. C.; Passos, E.; Caneparo, S. C. Considerações a respeito dos condicionantes utilizados em pesquisas envolvendo movimentos de massa. *Geoingá, Maringá*, v. 5, n. 1, p.102-124, 2013.
- Santos, P.; Tavares, A. Modelação de processos de queda de blocos em vertentes na região de Alvaiázere: dois estudos caso. *Modelação de sistemas geológicos*, Coimbra, p. 363 – 373. 2011.