

## APLICAÇÃO DO SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG) NA IDENTIFICAÇÃO DE LOCAIS COM SUSCEPTIBILIDADE DE RUPTURAS

Marcos Rogério do Nascimento Júnior <sup>1</sup>; Thayssa Pereira de Andrade <sup>2</sup>; Ana Paula de Campos Daher <sup>3</sup>

**Resumo** – Os deslizamentos das encostas são eventos constantes na transformação da paisagem, trazendo risco de desastres nas cidades. Além de promover consequências sociais, econômicas e ambientais. Como forma de evitá-los, é cada vez mais comum, nas instituições de controle de desastres, o emprego de estudos e técnicas de geoprocessamento para se avaliar e mitigar os riscos. Este estudo descreve o uso e a aplicação do Sistema de Informação Geográfica (SIG) na identificação de locais com susceptibilidade de rupturas em uma encosta. Com dados geotécnicos do solo, topografia e modelagem matemática envolvendo a krigagem ordinária e a álgebra de mapas, quantificou-se os riscos de rupturas.

**Abstract** – Landslides are constant events in the transformation of the landscape, bringing disaster risk to cities. In addition to promoting social, economic and environmental consequences. As a way of avoiding them, the use of studies and geoprocessing techniques to assess and mitigate risks is growing in disaster control institutions. This article describes the use and application of the Geographic Information System (GIS) in the identification of sites with susceptibility to failures on a slope. With soil geotechnical data, topography and mathematical modeling involving ordinary kriging and map algebra, the risks of failure were quantified.

**Palavras-Chave** – SIG, Modelagem, Cartografia geotécnica, Fator de segurança.

---

<sup>1</sup> Geól, Esp., DF+ Eng. Geotéc. Rec. Hídricos, (31) 2519-1001, mnascimento@dfmais.eng.br

<sup>2</sup> Geól., MSc., DF+ Eng. Geotéc. Rec. Hídricos, (31) 2519-1001, tandrade@dfmais.eng.br

<sup>3</sup> Geól., MSc., DF+ Eng. Geotéc. Rec. Hídricos, (31) 2519-1001, adaher@dfmais.eng.br

## 1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento e avanço do Sistema de Informação Geográfica (SIG) possibilitou a representação do meio físico em meio computacional, promovendo a análise e a integração dos dados (Câmara *et al.*, 2001; Francisco, 2014). Dessa forma, nota-se um crescimento da aplicabilidade dessa ferramenta na avaliação de diferentes cenários, dentre eles: meio ambiente, agricultura, mineração e mapeamento de área susceptíveis a deslizamentos.

## 2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

Em estudos geotécnicos de estabilidade de taludes e encostas, é necessária a investigação geológico-geotécnica do substrato e suas geometrias. Assim, cabe salientar a necessidade de levantamentos geotécnicos específicos para se reconhecer os parâmetros e índices físicos dos solos. Neste trabalho, utilizou-se os parâmetros obtidos por uma campanha de investigação realizada em um talude de rodovia (Figura 1). Os índices físicos dos materiais são apresentados na Tabela 1. As formas geométricas da altura, bermas, ângulos e a declividade da área de estudo foram avaliadas com base no MDT gerado.

A partir da espacialização dos índices físicos ( $c$ ,  $\gamma$  e  $\phi$ ), utilizou-se a krigagem ordinária do “qGIS” para se estimar a variação espacial.

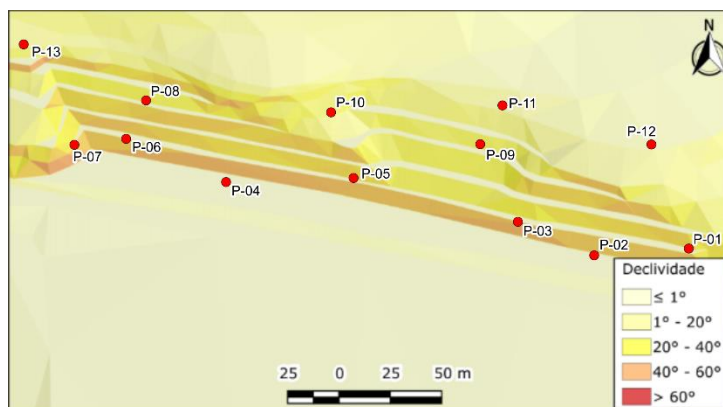


Figura 1 - Área dos pontos de amostragem e índices físicos com a mapa de declividade.

Tabela 1: Informações dos índices físicos do solo natural

Pontos	$c$ (kPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)
P-01	82,73	31	40,0
P-02	95,00	34	40,0
P-03	17,90	33	25,3
P-04	16,90	21	23,0
P-05	45,00	28	30,0
P-06	17,00	26	28,0
P-07	46,70	22	33,0
P-08	17,90	32	28,0
P-09	43,00	31	34,2
P-10	18,10	33	34,2
P-11	18,50	31	35,0
P-12	48,00	21	31,7
P-13	89,00	31	40,0

Onde: coesão ( $c$ ), peso específico ( $\gamma$ ) e ângulo de atrito ( $\phi$ ).

Na avaliação de susceptibilidade com o SIG, considerou-se o método de equilíbrio limite e utilizou-se a equação do talude infinito para verificação das áreas com potenciais susceptíveis. Savage *et al.* (2004) apresentam um modelo simplificado dos solos em declividades sobre

condições saturadas para um talude finito. No entanto, quando o nível freático se encontra abaixo da superfície de ruptura, a fórmula matemática pode ser simplificada para o cálculo do FS:

$$FS = \frac{\tan \phi}{\tan \theta} + \frac{c}{y * d_{th} * \text{sen} \theta * \text{cos} \theta}$$

Para a realização dos cenários de susceptibilidade, levou-se em consideração que as instabilidades das encostas fossem rupturas planares em solo natural sem a presença de água, ou seja, as potenciais rupturas superficiais estão acima do nível freático. Adotaram-se as profundidades h=1 e 2 metros, no entanto, foram feitas análises com h=3 e 4 metros para verificar as variações espaciais das rupturas. Com base na fórmula apresentada realizou-se a operação algébrica de mapas através da calculadora *raster* do “qGIS”.

Para a classificação dos cenários, adotou-se a nomenclatura proposta no estudo de Amaral e Fiori (2004) em que representaram as classes de ruptura do grau de estabilidade em seu estudo. As classes definidas estão descritas na Tabela 2.

Tabela 2: Classes de estabilidade dos valores de FS (FONTE: Amaral e Fiori, 2004)

Condição	Classe	Estágio de predição
FS > 1.50	5	Áreas sem risco
1.30 < FS < 1.50	4	Áreas de risco baixo
1.15 < FS < 1.30	3	Áreas de risco médio
1.00 < FS < 1.15	2	Áreas de risco alto
FS < 1.00	1	Áreas na iminência de escorregamentos

O resultado das simulações (Figura 2) apresentou no cenário 1 valores de FS > 1.5, sem áreas de risco. Já nos cenários seguintes, os valores de FS tendenciaram a ruptura. No cenário 2 apresentaram valores de 1.3 < FS < 1.15, com risco baixo a médio na região sudoeste. Já no cenário 3 há áreas com alto risco de ruptura, com valores de 1.0 < FS < 1.15, além de áreas sem risco e com risco baixo e médio. No cenário 4 as áreas de rupturas aumentaram, no entanto, não existiram valores de FS ≤ 1, ou seja, ausência de áreas na iminência de escorregamentos.

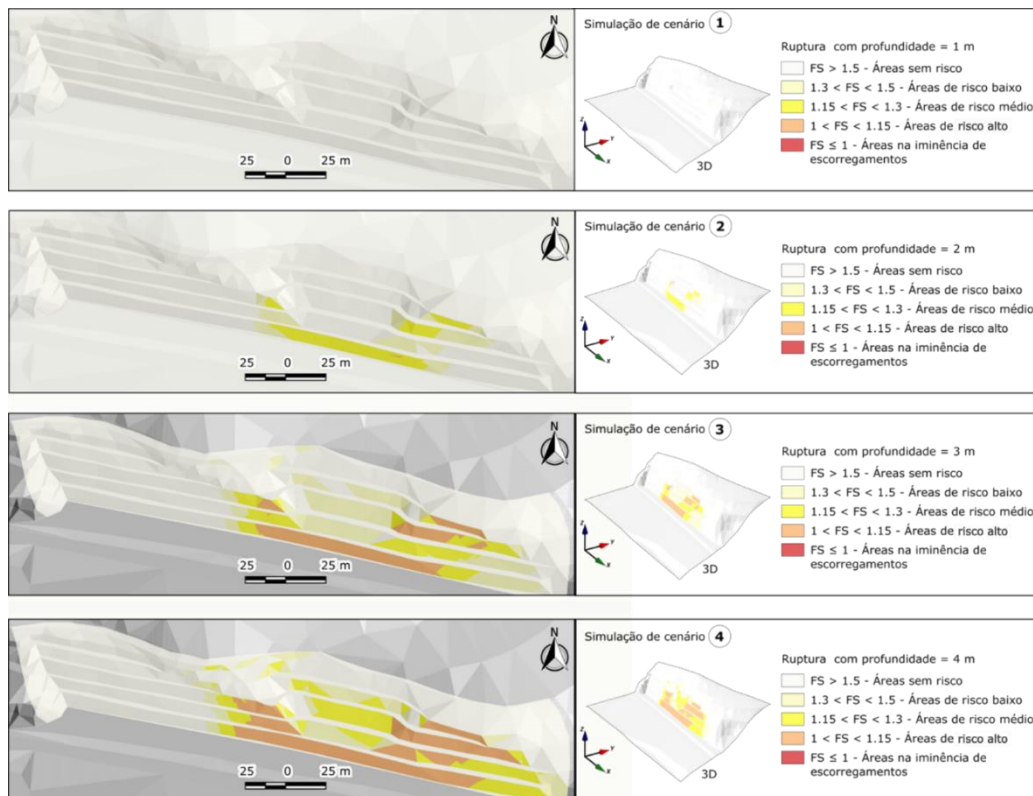


Figura 2 - Cenários de simulações de rupturas. 1) Ruptura com h=1 metro; 2) Ruptura h=2 metros; 3) Ruptura com h=3 metros; e 4) Ruptura com h=4 metros.

### 3. CONCLUSÃO

Ao avaliar os resultados obtidos, pode-se concluir que a aplicação do SIG ajuda a identificar locais com susceptibilidade de rupturas.

Para as condições do solo natural, os resultados das análises com  $h=1$  e 2 metros apresentaram resultados de risco baixo a médio. Por outro lado, ao adotar  $h=3$  e 4 metros pode-se observar a variação espacial mais incisiva das rupturas.

Ao mesmo tempo, deve-se levar em consideração a saturação d'água, principalmente em períodos de chuva. A sua presença propicia alteração do substrato geológico, variando os parâmetros geomecânicos e, por conseguinte, o aumento do risco de rupturas. Mais uma vez é confirmada a importância de conhecer os índices físicos do solo e a presença de água, por meio de investigações geotécnicas e amostragem do solo/rocha.

A respeito dos resultados gerados na krigagem ordinária, fica evidente a necessidade de locações de amostragens mais bem distribuídas para a qualidade do processo de interpolação. O uso da técnica confirmou-se como um bom interpolador espacial para esse tipo de estudo.

As simulações realizadas podem contribuir na avaliação e mitigação dos riscos de rupturas em encostas. É relevante destacar que o uso desses modelos contribui principalmente na validação de cartas geotécnicas, ou seja, a sua aplicação apoia os cálculos de variação espacial com base nos valores de fator de segurança. Esta técnica permite também a realização de pré-análises de locais com difícil acesso para mapeamentos geológico-geotécnicos mais detalhado das encostas, bastando conhecer os parâmetros e índices físicos dos solos por meio de amostragens.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos pelo apoio no desenvolvimento e divulgação desses estudos.

### REFERÊNCIAS

AMARAL, Cristiane; FIORI, Alberto Pio. (2004) “*Grau de Estabilidade das Vertentes da Serra do Paruã, nas Proximidades do Falso Túnel.*” In: Simpósio Brasileiro De Cartografia Geotécnica E Geoambiental, 5, São Carlos. Anais. p. 164-172.

CÂMARA, Gilberto. *et al.* (2001) “*Introdução à Ciência da Geoinformação.*” São José dos Campos: INPE, p. 1-5. Disponível em: <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/publicacao.pdf> , acessado em 22 de junho de 2017.

FRANCISCO, Cristina Nunes. (2014) “*Sistema de Informações Geográficas: Estudo Dirigido em GIS.*” In: Conceitos de Geoprocessamento. 2.ed., p. 3-22. Disponível em: <http://www.capacidades.gov.br/blog/download/id/38/post/410/midia/9901> , acessado em 22 de junho de 2017.

SAVAGE, William Z. *et al.* (2004) “*Modeling Time-dependent Slope Stability.*” In: International Symposium On Landslides - Landslides: Evaluation And Stabilization, 9, Rio de Janeiro. Anais. Vol. 1, p. 23-36.