

ANÁLISE PARAMÉTRICA DE PROTÓTIPOS DE MOVIMENTOS DE MASSA EM SISTEMAS DE VERTENTE SINTÉTICOS

ANÁLISE PARAMÉTRICA DE PROTÓTIPOS DE MOVIMENTOS DE MASSA EM SISTEMAS DE VERTENTE SINTÉTICOS

Colangelo, A.C.¹;

¹UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO *Email:accolang@usp.br*;

RESUMO:

O propósito central deste trabalho é perfazer um procedimento inverso em relação à abordagem convencional de parametrização de movimentos de massa. Trata-se de gerar uma quantidade de protótipos de movimentos de massa por meio de um “simulador de estabilidade de vertente” que opera encostas sintéticas geradas por um “emulador de unidades de vertente”(Colangelo, 2007), com o objetivo de confrontar os parâmetros físicos, morfológicos e geotécnicos projetados, com aqueles dos eventos reais.

PALAVRAS CHAVES:

Movimentos de massa; Estabilidade de encostas; Evolução de vertentes

ABSTRACT:

The central purpose of this work is to perform a reverse procedure in the mass movement conventional parameterization approach. The idea is to generate a number of mass movements prototypes by means of “slope stability simulator” in synthetic slope environment (Colangelo, 2007), by means of slope unity emulator and compare their projected morphological, physical and geotechnical properties with “real” conditions of effective mass movements.

KEYWORDS:

Mass movements; Slope stability; Slope evolution

INTRODUÇÃO:

A parametrização de variáveis vinculadas a processos de movimentos de massa é uma tarefa extremamente difícil, sobretudo em áreas tropicais úmidas. Tais dificuldades ocorrem porque, além de numerosas, tais variáveis devem ter seu comportamento avaliado no interior do maciço terrígeno, nas proximidades de uma superfície teórica conhecida como superfície de ruptura potencial (SRP). Variáveis geomorfológicas, geotécnicas e hidrológicas concorrem para a ocorrência dos deslizamentos de terra, de modo que são inumeráveis os possíveis quadros paramétricos, ou cenários, em que o fator de segurança (Fs) pode assumir valores abaixo da unidade, mesmo que em uma

ANÁLISE PARAMÉTRICA DE PROTÓTIPOS DE MOVIMENTOS DE MASSA EM SISTEMAS DE VERTENTE SINTÉTICOS

pequena porção da superfície de ruptura potencial (SRP). Nossos estudos no Planalto de Paraibuna, Paraitinga e nas escarpas da Serra do Mar em Caraguatatuba indicam que, no desencadeamento de um deslizamento de terra é mais frequente haver uma convergência de fatores do que a interferência de um fator isolado (Colangelo, 1995, 2000, 2007 e 2012; Cruz & Colangelo, 2000). Nessas áreas, de clima tropical úmido e contexto geotectônico de borda de Craton, com forte atividade no Cenozóico, é muito grande a complexidade e variedade dos quadros paramétricos que condicionam a frequente ocorrência de movimentos de massa. São muitos os contextos em que o fator de segurança é levado para além das condições de contorno, com a consequente ruptura dos materiais nos diferentes tipos de formações superficiais. Muitas das dificuldades com as quais nos deparamos ao tentar avaliar o comportamento desses fatores e variáveis a partir de medidas e ensaios de campo parecem intransponíveis. Uma delas refere-se ao fato de que os referenciais empíricos resultantes de testes e medidas são obtidos dos materiais nas porções das superfícies de ruptura expostas nas cicatrizes e do material depositado. Por serem posteriores à ocorrência do processo, não revelam as condições originais que o condicionaram (Brooks, 1999).

MATERIAL E MÉTODOS:

O simulador de estabilidade de vertentes permite realizar experimentos de estabilidade em sistemas de vertente sintéticos, a partir da projeção de “superfícies de ruptura potenciais” e de parâmetros físicos e geotécnicos de materiais terrígenos em meio digital. O dispositivo EUV-SEV, emulador-simulador de estabilidade de vertente, opera com um núcleo de 10 modelos e 16 variáveis. Ele permite não só projetar anisotropias nos materiais, por modelização do comportamento das variáveis, mas também sua evolução no tempo e espaço. Por mais que o grau de complexidade do dispositivo seja elevado, considerando o número de algoritmos e variáveis envolvidos, os resultados dos experimentos sempre devem ser tomados com cautela, porque os modelos correspondem a simplificações em relação aos eventos e objetos do mundo real. da mesma forma, os resultados são sempre aproximações em relação ao “mundo real”. É muito difícil prever o comportamento, espacial ou temporal, das variáveis vinculadas aos materiais das formações superficiais em vertentes reais, de modo que, nas tentativas de prognóstico devemos nos contentar com margens de erro elevadas. Isso ocorre, mesmo quando muitos dos parâmetros morfológicos, hidrológicos e geotécnicos utilizados nos modelos tenham sido obtidos de medidas e experimentação de campo. Uma vez que, experimentos de estabilidade sob amplo controle das variáveis são impraticáveis em vertentes reais, a utilização de sistemas de vertente sintéticos para explorar uma ampla diversidade de cenários paramétricos, torna-se uma alternativa viável para enfrentar o problema da parametrização dos processos de movimentos de massa. As dificuldades de controle sobre as variáveis observadas nos sistemas de vertente reais se deve à relativa inacessibilidade do meio subterrâneo, às anisotropias

ANÁLISE PARAMÉTRICA DE PROTÓTIPOS DE MOVIMENTOS DE MASSA EM SISTEMAS DE VERTENTE SINTÉTICOS

não lineares presentes no material das formações superficiais e a lenta evolução temporal das variáveis intervenientes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

O protótipo de evento de movimentação de massa que estamos analisando neste artigo foi gerado a partir de uma queda induzida nos valores da densidade aparente do solo úmido da ordem de 10,5%, estando fixadas as demais variáveis (Fig.01). Quedas dessa magnitude podem ocorrer nos materiais de formações superficiais em encostas naturais, como consequência da atuação dos processos de alteração da rocha e da pedogênese, numa escala de tempo que podemos especular, para o ambiente tropical úmido, da ordem de 10⁴ a 10⁵ anos. Constata-se que a área de débito de resistência, ou “superfície de efetivo potencial de ruptura”, também não coincide com as porções de maior declividade da “superfície de ruptura potencial”. Isso sugere que os movimentos de massa podem ocorrer em porções de encosta que não são necessariamente as mais declivosas. Nesses locais, as menores espessuras de alterita e de solo, podem fazer com que a SRP esteja a profundidades que não correspondem aos valores críticos necessários para haver a ruptura do material. Outro fator a ser considerado neste caso, coadjuvante ao anterior, é a tendência à ocorrência de maior condutividade hidráulica associada aos solos das porções de encosta mais íngremes, favorável à manutenção de níveis de saturação mais baixos, o que favorece a estabilidade do material. O que chamamos de “superfície de efetivo potencial de ruptura” corresponde à porção da “superfície de ruptura potencial” cuja profundidade está abaixo dos valores críticos (Fig.01) e, portanto, os fatores de segurança encontram-se abaixo da unidade. Nesse experimento ela apresenta uma área de 2.882m², representando cerca de 5,7% da área da encosta. Entretanto, a área total atingida pelo deslizamento, que inclui a raiz a montante e o depósito a jusante, é bem mais extensa e perfaz 6.419m², 12,8% do total da encosta. O protótipo gerado neste experimento é um deslizamento rotacional (“slump”), caracterizado por uma superfície de ruptura conchoidal e curta translocação do material sobrejacente até nova condição de equilíbrio, quando a tensão cisalhante é totalmente compensada pela resistência ao cisalhamento residual, fazendo assim cessar o movimento. No experimento aqui analisado, a declividade média da superfície de efetivo potencial de ruptura é de 34,4 graus, apenas 0,56 graus superior ao limiar médio calculado, de 33,84 graus. Entretanto, essa aparentemente pequena superação do limiar é responsável por um débito médio de resistência na SEPR da ordem de 14KPa, sendo que o máximo chega a 25KPa, mesmo não havendo ocorrência de débito de fricção em seu domínio. Aí, a espessura média do material sobrejacente é de 10,29m, 37cm além da profundidade crítica média calculada, que é de 9,82m. (fig.01). O simulador de estabilidade de vertentes está fundamentado na “análise do limite de equilíbrio”. Portanto, ele faz um balanço do total das tensões atuantes na base de cada célula que compõe o sistema de vertente sintético, ou seja, sobre a superfície de ruptura potencial, com a finalidade de determinar os parâmetros correspondentes aos limiares de equilíbrio

ANÁLISE PARAMÉTRICA DE PROTÓTIPOS DE MOVIMENTOS DE MASSA EM SISTEMAS DE VERTENTE SINTÉTICOS

do material. Sendo assim, o dispositivo descreve estados de equilíbrio pré e pós-deslizamento, não sendo considerados processos dinâmicos particulares envolvidos com os movimentos de massa, ou mesmo as deformações sofridas pelo material em fases pré-movimentação. São 16 as variáveis controladas pelo simulador de estabilidade. Apesar de todas apresentarem comportamento não linear, revelam anisotropias regulares, determinadas pelos modelos que os descrevem. Devemos estar cientes de que tais descrições representam uma simplificação frente à complexidade dos sistemas naturais. Por exemplo, o gráfico da figura 02 exhibe os comportamentos das declividades da superfície de ruptura potencial frente ao comportamento dos limiares de declividade calculados, indicando aquelas que ultrapassam tais limiares.

CONSIDERAÇÕES FINAIS:

Podemos considerar a possibilidade de que quadros paramétricos similares possam se configurar em encostas reais, uma vez que a maior condutividade hidráulica em cambissolos, frequentemente está associados às porções mais declivosas da encosta. Sem dúvida, parametrizações feitas com a ajuda desses dispositivos não expressam uma verdade empírica específica. Entretanto, sua utilidade reside principalmente no fato de permitirem a realização imediata de inumeráveis experimentos paramétricos envolvendo um grande número de variáveis, o que ainda não pode ser realizado em vertentes reais. Medições e experimentações de campo sobre as variáveis envolvidas com os movimentos de massa costumam apresentar valores inusitados, que se distanciam do esperado. Os valores esperados são sempre aqueles que nossos modelos projetam. Entretanto, o meio físico é fundamentalmente anisotrópico, sua complexidade vai sempre muito além daquela que conseguimos incorporar aos nossos modelos (COLANGELO, 2007)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA:

BISHOP, A. W. - 1955 - The use of the slip circle in the stability analysis of slopes, *Geotechnique* 5, /-17p.

BROOKS, S. M., ANDERSON, M. G., ENNION, T. and WILKINSON, P. – 1999 - Exploring the Potential for Physically-Based Models and Contemporary Slope Processes to Examine the Causes of Holocene Mass Movement. In *Process Modelling and Landform Evolution*, Springer, pp205-230.

CARSON, M.A. and KIRKBY, M.J. - 1972 - *Geomorphic Systems and Models*. In *Hillslope Form and Process*, Londres, Cambridge University Press, 475p.

ANÁLISE PARAMÉTRICA DE PROTÓTIPOS DE MOVIMENTOS DE MASSA EM SISTEMAS DE VERTENTE SINTÉTICOS

CARSON, M. A. - Thresholds and characteristic angles of straight slopes. in Mass Wasting, 4th Ghelph symposium on Geomorphology, Ontario, 1975

COLANGELO, A. C - 1995 - Os Mecanismos de Compensação e o Equilíbrio de Forças na Dinâmica dos Materiais de Vertente, Revista do Departamento de Geografia, n. 9, p13-20.

COLANGELO, A. C. & O. CRUZ - 1997 - Spatial magnitude-frequency index of mass movement event deposits in a humid tropical Precambrian plateau, and its connection with MFI of daily rainfall, "Fourth International Symposium on Geomorphology", Bologna, 28 de Agosto a 3 de Setembro 1997.

COLANGELO, A. C. - 2007 - Geomorfossíntese e Geomorfocinemática Aplicadas à Evolução e Estabilidade de Vertentes, Tese de Livre-Docência, FFLCH-USP, 228p.

COLANGELO, A. C. – 2009 - Physical and morphological analysis of synthetic mass movements generated by slope stability simulator, 8th IAG International Conference on Geomorphology, Oral presentation, Sessão Hillslopes and Mass Movements - July 6th to 11th, Melbourne, Australia.

COLANGELO, A. C. – 2012 - Os Parâmetros de Resistência ao Cisalhamento e a Estabilidade das Encostas no Planalto de Paraibuna e Serra de Caraguatatuba, Revista do Departamento de Geografia – USP, (ISSN 2236-2878 DOI: 10.7154) Volume Especial 30 Anos (2012), p. 112-129.

FREDLUND, D.G. – 1987 - Slope Stability Analysis Incorporating the Effect of Soil Suction. In Slope Stability, Anderson, M.G. & Richards, K.S. Eds., John Wiley, Chichester, pp113-144.