



Deslizamentos de Terra e as Leis de Newton
Landslides and Newton's Laws

Gleide Alencar do Nascimento Dias

*Universidade Federal do Rio de Janeiro, Departamento de Geologia, Laboratório de Geofísica,
Av. Athos da Silveira Ramos, 274, 21.949-900 Cidade Universitária, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, RJ, Brasil*

E-mails: gleide@geologia.ufrj.br

Recebido em: 02/06/2013 Aprovado em: 16/07/2013

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2013_2_86_90

Resumo

A física teórica e experimental pode ser relacionada ao nosso cotidiano, buscando desta forma o desenvolvimento científico para educadores e funcionar como um facilitador no aprendizado para os alunos. Procurou-se mostrar a interdisciplinaridade para o aluno, adaptando um antigo experimento da área de física através dos princípios das leis de Newton do movimento de um bloco em uma rampa inclinada com as forças que contribuem para os deslizamentos de terras em taludes, como também a influência da variação granulométrica. Os taludes ou encostas naturais são definidos como superfícies de maciços rochosos, terrosos ou mistos (solo e rocha). Na análise da estabilidade de taludes o método analítico é empregado no equilíbrio-limite no qual se utiliza um coeficiente ou Fator de Segurança (FS), onde são calculados pelo quociente entre a resistência do terreno e as forças motoras ao longo da superfície de movimentação. Observou-se que para uma rocha de superfície lisa em uma rampa com grãos na fração de areia a silte desliza a partir de um ângulo mais raso do que para superfície com grãos na fração de cascalho fino, onde as rochas deslizam em ângulos diferentes em diferentes tipos de grãos.

Palavras-chave: deslizamento; granulometria; Física

Abstract

Theoretical and experimental physics can be related to daily life, in order to promote scientific development for educators and serve as a facilitator for student learning. As an interdisciplinary example, the old physics experiment that illustrates the principles of Newton's laws, the moving block on an inclined surface is compared with the forces that contribute to the landslides on slopes as well as particle size influence. The man-made and natural slopes are defined as surfaces of rock, earth or mixed (soil and rock) massif formations. The stability of both slope types is analyzed by the limit equilibrium analytical method using a coefficient or factor of safety (FS), which is given by the ratio between the resistance of the terrain and the driving forces along the surface movement. It was observed that for a smooth-surface rock on a slope formed by grains varying from sand to silt, the sliding happens at a shallower angle compared to a slope where the surface grain is fine gravel. Therefore, rocks slide at different angles depending on the slope grain size.

Keywords: sliding; granulometry; Physics

1 Introdução

Princípios físicos podem ser relacionados a fatores que norteiam o nosso dia-a-dia. Quando se compara o desenvolvimento da ciência com o seu repasse dentro das instituições de ensino há certa “decepção” sobre o que é ensinado. Enquanto cientistas relatam o mundo as suas mais novas descobertas nas diversas áreas de pesquisas, os estudantes vêem uma física do tempo de Galileu-Galilei com pêndulos, planos inclinados e ondas do século XIX, como se o desenvolvimento científico não tivesse ultrapassado esse ponto de sua história. Segundo (s.d.) a motivação, o interesse e a participação dos alunos nos diversos níveis de escolaridade tem sido, hoje, uma das grandes preocupações de todos aqueles que estão diretamente ligados com a educação. Diante desse quadro, o professor se encontra frente a uma realidade distante dos objetivos propostos pelo MEC – Resolução nº 8/71 e Parecer nº 853/71 que prevê “desenvolvimento do pensamento lógico, vivência do método científico, conhecimento do meio próximo e remoto e universalidade das leis científicas” (Henning *apud* Penteadó & Kovaliczn, [s.d.], p. 4), assim cabe ao professor despertar o interesse do aluno para o conteúdo. Neste estudo pretendeu-se adaptar um antigo experimento da área de física, através dos princípios das leis de Newton para o movimento de um bloco em rampa inclinada com as forças que contribuem para os deslizamentos de terras em taludes, como também a influência da variação granulométrica.

A estabilidade de taludes e encostas naturais acumula extenso desenvolvimento técnico e científico, envolvendo diferentes áreas do conhecimento tais como Engenharia Civil e de Minas, Geografia, Geologia, Geologia de Engenharia, Geomorfologia, Mecânica dos Solos e Geofísica. Os taludes ou encostas naturais são definidos como superfícies de maciços rochosos, terrosos ou mistos (solo e rocha). O termo encosta é mais empregado em caráter regional. Talude artificial refere-se à declive de aterros construídos a partir de materiais de diferentes granulometrias e origens, incluindo rejeitos industriais, urbanos ou de mineração. As maiores partes dos acidentes geológicos registrados bem como os mais graves e as numerosas situações de riscos geológicos associam-se aos processos geodinâmicos exógenos, historicamente os escorregamentos e processos correlatos (rastejo, corridas, quedas de blocos de rocha, rolamento de matacões, etc) (Oliveira & Brito, 1998). Para os escorregamentos ou movimento de encosta existem inúmeras classificações. As classificações modernas baseiam - se em combinações dos critérios de: a) velocidade, direção e recorrência dos deslocamentos. b) natureza do material instabilizado, solo, rocha, detritos, depósitos, textura, estrutura e conteúdo de água, c) geometria das massas movimentadas e d) modalidade de deformação do movimento (Oliveira & Brito, 1998) (Figura 1).

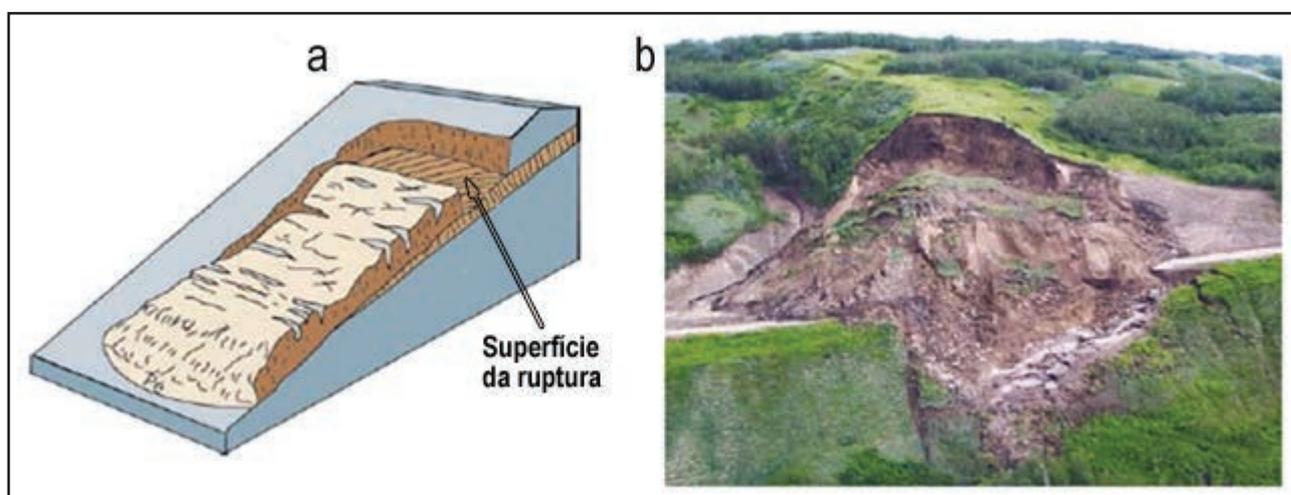


Figura 1 a) Esquema de escorregamento translacional (Esquema da Referência 9 modificado). b) Imagem de um escorregamento translacional que ocorreu em 2001 no Vale do rio Beaton, British Columbia, Canada (Highland & Bobrowsky, 2008).

2 Fundamentos

A relação dos deslizamentos de terra neste estudo esta fundamentada três leis de Newton: a) 1ª. Lei ou princípio da inércia: um corpo permanecer em seu estado de movimento a menos que sobre ele atue uma força resultante que altere esta condição. b) 2ª. Lei: relação entre a força resultante \vec{F}_R e \vec{a} aceleração que ela produz. Ela indica que a força é proporcional a aceleração e a constante de proporcionalidade é a massa (m) do corpo: $\vec{F}_R = m \cdot \vec{a}$. c) 3ª. Lei ou Lei da Ação e Reação: para toda a ação há uma reação de igual intensidade, mesma direção e sentido opostos atuando nos corpos que interagem. Um corpo parado na iminência de se movimentar sobre um plano inclinado (Figura 2) as forças que atuam sobre o corpo são: a força peso \vec{P} exercida pela Terra, a força de sustentação exercida pelo plano N e a força de atrito f exercida pelo contato entre o plano e o corpo.

Quando um corpo é pressionado contra uma superfície e uma força \vec{F} é aplicada na tentativa de fazer o corpo deslizar sobre a superfície, a força de atrito resultante tem três propriedades: 1) Se o corpo não se move, então a força de atrito estático f_e e a componente \vec{F} paralela à superfície são iguais em módulo e tem sentidos opostos. 2) O módulo de f_e tem o valor máximo $f_{e, \max}$ dado por $f_{e, \max} = \mu_e N$, μ_e é o coeficiente de atrito estático e N é o módulo da reação normal. Se o módulo da componente de

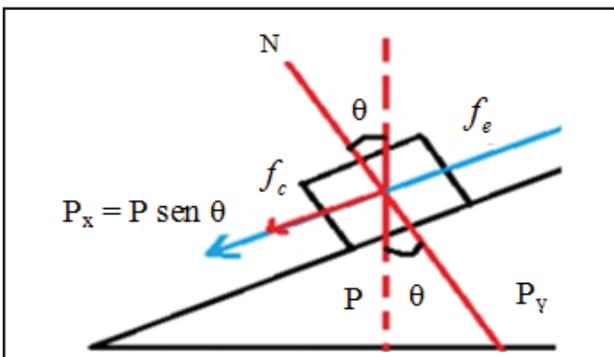


Figura 2 Plano inclinado com a representação das componentes das forças.

\vec{F} paralela à superfície for maior do que $f_{e, \max}$, então o corpo começará a deslizar sobre a superfície. 3) Se o corpo começar a deslizar sobre a superfície o módulo da força de atrito decrescerá rapidamente para o valor f_c dado por $f_c = \mu_c N$, μ_c é o coeficiente de atrito cinético. Enquanto o corpo deslizar o módulo da força de atrito cinético f_c ou f_e . No plano inclinado tem-se um sistema de eixos ortogonais convenientes para decompor e somar as forças. Usando trigonometria, triângulo retângulo, observa-se que $P_x = P \sin \theta$ e $P_y = P \cos \theta$.

Aplicando a 2ª lei de Newton nas direções x e y na condição de não haver movimento (aceleração nula) obtém-se:

$$\text{direção y: } N - P \cos \theta = 0, N = P \cos \theta \quad (1)$$

$$\text{direção x: } P \sin \theta - f_c = 0, f_c = P \sin \theta \quad (2)$$

$$\mu_e N = \mu_e P \cos \theta = P \sin \theta.$$

$$\text{Logo, } \mu_e = \tan \theta \quad (3)$$

Na análise da estabilidade de taludes os métodos podem ser divididos em a) analíticos b) experimentais e c) observacionais. Em métodos analíticos é empregado o equilíbrio-limite no qual utiliza-se um coeficiente ou Fator de Segurança (FS). Este é calculado pelo quociente entre a resistência do terreno e as forças motoras ao longo da superfície de movimentação. Um exemplo de formação do tipo de equilíbrio-limite para o cálculo do FS (Eq. 4) de uma ruptura planar, considerando inclusive a ação de um tirante é apresentado (Figura 3). Os parâmetros V, U são os empuxos devido as pressões neutras no plano de ruptura e na trinca de tração (respectivamente), T é a força devido ao tirante, C é a coesão no plano de ruptura, ϕ é o ângulo de atrito no plano de ruptura, β é o ângulo entre T e o plano de ruptura, Ψ é a inclinação do plano de ruptura, A é a área da base do bloco a deslizar e P é o peso do bloco. Analogamente podem ser observados a repetição de alguns

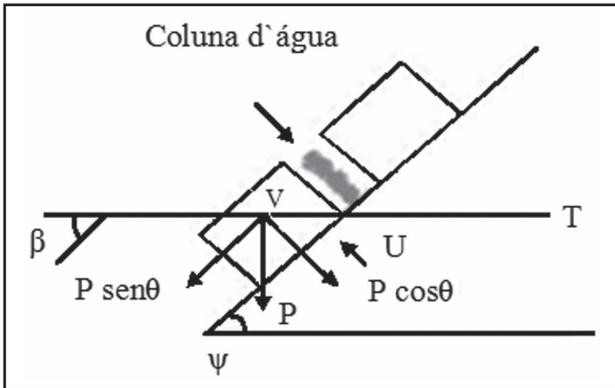


Figura 3 Plano inclinado com a representação das componentes das forças para deslizamento em talude.

parâmetros entre o bloco no plano inclinado e a figura que representa a encosta (Oliveira & Brito, 1998).

$$F = \frac{d + (P \cos \psi - U + T \sin \beta) \tan \phi}{P \sin \psi + V \cos \beta} \quad (4)$$

Se $FS < 1$ temos a condição de talude instável, se $FS = 1$ temos a condição limite de estabilidade associada à iminência de ruptura e se $FS > 1$ temos a condição estável.

3 Experimento e Resultados

Para elaborar o experimento foram utilizados:

- dois pedaços de madeira de $60 \times 67 \text{ cm}^2$ e $20 \times 67 \text{ cm}^2$, particionada em três partes de 15 cm (Figura 4), onde neste foram colocados grãos de fração granulométrica de 2 mm (cascalho fino) e abaixo de 0,35 mm (areia fina, areia muito fina, silte e argila),
- parafusos, c) um pedaço de rocha de 480 mg e, d) uma dobradiça.

Para verificar em qual ângulo a rocha começaria a deslizar sobre a rampa foram realizadas diferentes variações dos ângulos de inclinação sendo todos medidos através de um transferidor. Na efetivação das medidas a rocha foi colocada em

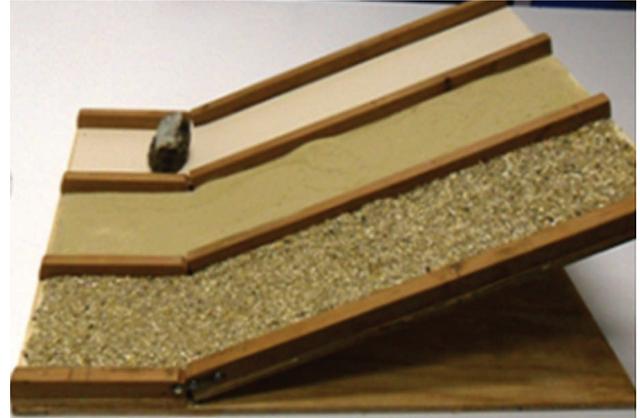


Figura 4 Modelo utilizado para o experimento.

uma posição horizontal de 33,2 cm. Através das várias medições verificou-se que a rocha começou a deslizar a partir do ângulo de 27° nos grãos mais finos (areia e silte) e de 29° nos grãos de cascalho. Já para a superfície lisa da madeira a rocha começou a deslizar a um ângulo de 26° . Na observação dos grãos deslocando sobre si mesmos o ângulos de inclinações para a fração areia e silte e fração cascalho fino foram de aproximadamente 36° e 39° , respectivamente. Para uma boa medida é importante estar atento para o ângulo em que a rocha realmente começa a deslizar. Pelo observado por alunos no experimento verificou-se: a) quanto maior o atrito do material da rampa maior é o ângulo necessário para a rocha se mover o qual independe da massa.

4 Conclusão

A rocha com a superfície lisa deslizou em um ângulo maior nos grãos de cascalhos devido as forças de atrito serem maiores em relação aos grãos de areia e silte.

Os grãos de cascalhos finos ao serem submetidos a variação do ângulo de inclinação da rampa tiveram uma maior dificuldade de deslizar sobre si mesmos devido a sua forma mais angulosa do que a areia, cuja a areia apresentou maior facilidade devido a sua forma mais arredondada. Diferentes tipos de grãos deslizam em ângulos diferentes.

Em relação à superfície da rampa atestou-se a relação da rugosidade da superfície, o ângulo de inclinação e o coeficiente de atrito estático, cujos fatores são parâmetros básicos para o entendimento da desestabilização de taludes.

5 Agradecimentos

Ao funcionário da UFRJ Jorge Luiz Gabriel.

6 Referências

- Highland, L.M. & Bobrowsky, P. 2008. The landslide handbook – A guide to understanding landslides: Reston, Virginia, U.S. Geological Survey Circular 1325, 129p.
- Oliveira, A.M.S. & Brito, S.N.A. 1998. *Geologia de Engenharia*. São Paulo, ABGE. 587 p.
- Penteado, R.M.R. & Kovaliczn, R.A. [s.d.]. Importância de Materiais de Laboratório para Ensinar Ciências. Disponível em: <<http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/pde/arquivos/22-4.pdf>>. Acesso em: 12 jul 2013.