

RUPTURAS DE ROCHAS E SOLOS: ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE OS FATOS OBSERVADOS E AS TEORIAS ENVOLVIDAS

Jose Antonio Urroz Lopes ¹

Resumo – A literatura técnica relaciona três tipos de rupturas à compressão em corpos de prova de rocha: longitudinal (a mais comum), inclinada (cisalhamento) e por deformação lateral (alargamento) e apenas a segunda concorda com a teoria de Mohr/Coulomb, do mesmo modo que não há concordância entre a teoria de Rankine e as rupturas observadas em solos atrás de estruturas de contenção. No primeiro caso, ainda de acordo com a literatura, esses modos de ruptura resultam de diferentes formas (proporções altura/diâmetro) das amostras, velocidades de aplicação de carga e valor de confinamento lateral. Outro modo de ruptura, no entanto, ocorre em corpos de prova de rocha: côncavo/convexo, semelhante aos geralmente observados em massas de solo e mesmo de rochas. Considerando que as últimas rupturas são comandadas pela expressão de Cullman, o autor verificou o que aconteceria substituindo a força gravitacional pelo valor de resistência à compressão (σ_1), aplicado pela máquina de compressão e obteve uma curva muito semelhante à observada em solos e, em alguns casos, grandes massas rochosas e um comportamento geral que se ajusta razoavelmente aos outros modos de ruptura discutidos na literatura, indicando a necessidade de uma revisão nas teorias utilizadas.

Abstract – The technical literature relates three types of compression ruptures in rock samples: longitudinal (the commonest), inclined (shear) and by lateral deformation (enlargement) and only the second agrees with the Mohr/Coulomb theory, in the same way that there is no concordance between Rankine's theory and soils ruptures observed in the backyards of contention structures. In the first case, still according with the literature, these rupture modes result from different forms (height/diameter proportions) of the rock samples, load application velocities and lateral confinement tax. Another mode of rupture however occurs in the case of rock samples: concave/convex, similar to those usually occurrent in soil masses and even, eventually, rocks. Considering the last ruptures are commanded by the Cullman expression, the author texted what would happen substituting the gravity force by the σ_1 value, applied by the compression machine and got a curve very similar to the observed in soils and rock masses ruptures and a general behavior that adjusts reasonably to the others break modes discussed in the literature, what claims by a revision of the used theories.

Palavras-Chave – rupturas de corpos de prova de solos e rochas; ruptura de encostas naturais e artificiais; rupturas atrás de estruturas de contenção; teoria de Mohr/Coulomb e Rankine

¹ Geól., MSc, LQ Geoambiental Ltda. Rua Manoel Eufrásio, 403, Cj 11, Juvevê / Curitiba – PR, zelopes41@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

Um dos artigos que mais impacto causaram, à época, na Geologia de Engenharia Brasileira, foi o de Santos (1976) – “*Por menos ensaios e instrumentações e por uma maior observação da natureza*” em que esse autor buscou mostrar que a geologia de engenharia não era apenas básica, mas fundamental, para o desenvolvimento de projetos de engenharia geotécnica, postulando, como metodologia a ser utilizada, a observação empírica e fenomenológica antes do que a execução de uma profusão de ensaios e o seguimento de teorias sem base observacional. O atual artigo segue um caminho semelhante: matematizar fenômenos quando possível, mas sem perder de vista a realidade, isto é, adaptar os modelos à natureza e não o contrário e quando um modelo adotado se afasta, sobremaneira, do observado, buscar novos modelos ou, pelo menos “abri-los” a outras possibilidades.

No presente caso, trata-se da verificação da aderência entre os fenômenos observados na ruptura de “massas rochosas” (entendendo-se como tal a “substância rochosa” sem os macrodefeitos – falhas e juntas) à compressão (seja pela ação de esforços, sobre corpos de prova, em laboratório, seja como resultado da ação gravitacional sobre grandes massas aflorantes) com as teorias de Mohr (Séc. XIX/XX), Coulomb (Séc. XVIII) e Rankine (Séc. XIX), desenvolvidas, as duas primeiras, originalmente para o caso de rupturas de materiais metálicos e adotadas, posteriormente, pela Geotecnia, para o caso de solos e rochas. Teorias mais modernas como as de Hoek e Bray (Hoek, E.1998), com grande base empírica e que incluem os “defeitos”, estão, por motivos óbvios, fora desta análise.

2. ALGUNS DADOS BIBLIOGRÁFICOS ACERCA DO COMPORTAMENTO DE CORPOS DE PROVA ROCHOSOS EM CONDIÇÕES DE RUPTURA

De acordo com as teorias de Mohr/Coulomb, rochas e solos, rompidos à compressão, deveriam apresentar superfícies de ruptura planas, retas e inclinadas segundo ângulos iguais a $45^\circ + \phi/2$, sendo ϕ o ângulo de atrito interno do material. Duncan (1969 V1 p 143), entretanto, afirma que na condição de compressão uniaxial “a falha ocorre pela formação de planos de ruptura que são paralelos ao eixo de carregamento” e que “similar fratura foi observada [por ele] em 99% dos 450 corpos de rocha testados em compressão uniaxial”.

Diversas explicações (ou não explicações) para as discordâncias entre as teorias e os fatos observados, podem ser encontradas na literatura técnica. Duncan (1969 p. 143) afirma que “fraturas paralelas ao eixo de carga podem ser interpretadas somente como fraturas de tração, mas [que] não há componente de tração de uma força de compressão” e “portanto a fratura de tração deve ser induzida” e sugere que o esforço de compressão pode gerar tensões de tração em poros, microfaturas e fendas orientados verticalmente (de vez que as orientadas horizontalmente tendem ao fechamento), o que está de acordo com as teorias, então disponíveis, acerca de concentração de tensões ao redor de um furo (Timoshenko 1966 V II p 282).

Adiante, Duncan (1969 V1 p 143) continua: “quando não for aplicada tensão confinante, o valor da tensão de tração induzida $\bar{\sigma}_v$, será igual a $\bar{\sigma}_1$ ” (o que também está de acordo com Timoshenko, 1966 V II p 282) e “[...] a fratura se propagará até uma extensão ilimitada” e, adiante, “a aplicação de uma pressão de confinamento [...] elimina, em grande parte [...] fraturas tracionais induzidas” e ainda “fraturas oblíquas se desenvolvem em acordância com as teorias correntes de falhas [...]”

Segundo Hendron Jr. (in Stagg & Zienkiewicz 1970 p 35) “as variáveis mais importantes no ensaio são a relação comprimento/diâmetro [...], a velocidade de carregamento e as condições de extremidades do corpo de prova. Quando são ensaiados corpos de prova com relação L/D [comprimento/diâmetro] muito pequenos, é provável que não se possam formar planos de ruptura no corpo de prova sem atravessar o plano formado pela base e prato da prensa. Com isso, o atrito entre o corpo de prova e a prensa produz um efeito de confinamento [...] que aumenta a resistência [...]” e adiante: “a velocidade de carregamento [...] influi sobre a resistência à compressão e o módulo de elasticidade [...] ao aumentar a velocidade, a resistência e o módulo de elasticidade aumentam, diminuindo a deformação de ruptura”. Finalmente, à p 36 lê-se: “As

condições de extremidade do corpo de prova influem sobre a forma da ruptura e a resistência das rochas”.

Hoek (1970 in Stagg/Zienkiewicz p 107) generaliza a condição da ruptura por tração a partir da extremidade de fissuras elípticas abertas, concluindo que a tensão de tração que causa a ruptura é proporcional à resistência à tração da rocha e à componente normal à dimensão maior da fenda resultante da tensão de compressão exercida. À p 108 Hoek assim se expressa: “em um estado de tração simples, perpendicular à fissura, se inicia uma greta no extremo da abertura elíptica, a qual se propaga no plano da fissura inicial” e “a propagação desta greta dá lugar à ruptura por tração do corpo de prova” e aquela “terá lugar em um plano [...] perpendicular à direção da tração aplicada σ_3 ”. Este mesmo autor, à p. 112 conclui que “o estado final de uma amostra de rocha, ensaiada até a ruptura, sob compressão, dependerá do tamanho da amostra e da constrição imposta pelas cabeças da máquina de ensaio”.

Tratando da resistência de cristais, D. H. Trollope (in Stagg/Zienkiewicz p 281/282) deduz que quando a tensão confinante é igual a zero se produz uma força de tração nas ligações interatômicas normais à direção das cargas de compressão e que ao ser ultrapassada a força de atração pela de repulsão, deverá ocorrer o rompimento de uma dessas ligações à qual, provavelmente, seguir-se-á uma “reação em cadeia que se propagará até que se produza uma superfície de ruptura contínua” e que quando não houver deslizamento entre átomos próximos ter-se-á uma ruptura rígido-frágil e, se existirem pequenos movimentos relativos entre átomos [...], uma ruptura elasto-frágil. Este modelo prescinde, conseqüentemente, da presença de vazios, como nos anteriores, para ocorrer a ruptura por tração. Sobre a mesma questão, à p 370 do Volume II, Timoshenko assim se expressa: “Experiências com cristais singelos na zona elástica, mostram normalmente considerável variação nas propriedades [...], dependendo da orientação do cristal” e adiante “as tensões numa peça ensaiada não se distribuem uniformemente e os deslizamentos podem ocorrer nos cristais [...] mais desfavoravelmente orientados, antes que a tensão média [...] atinja o valor da tensão de escoamento”.

Segundo, ainda, Trollope (in Stagg/Zienkiewicz p 282), quando se tratar de material rochoso, isto é, composto de inumeráveis cristais, a energia de atração ao redor desses indivíduos cristalinos será menor que a existente no interior de cada um deles e, conseqüentemente, estes devem ser os pontos fracos do sistema e, à p. 288, conclui que as formas principais de ruptura: vertical, inclinada e por deformação lateral dependem dos valores relativos dos sistemas de forças aplicados: vertical (tração) quando o confinamento lateral é zero; inclinada (cisalhamento) quando o confinamento lateral é moderado e deformação lateral quando o confinamento lateral for alto.

Liang et al (2016 p 1669 - 1671) apresentaram um estudo em que foram testados, simultaneamente, o efeito da velocidade de deformação e da forma dos corpos de prova sobre os resultados de resistência, tendo sido, para tal, utilizada uma rocha granítica, da qual foram retirados corpos de prova com relações L/D que variaram entre 1 e 3, submetidos a carregamentos com taxas de deformação variando entre 10^{-5} s^{-1} e 10^{-2} s^{-1} . Entre outras conclusões importantes desses autores podem ser citadas: (i) a resistência à compressão simples, o início da dilatância, a deformação axial de pico e a energia de deformação decrescem com o crescimento da relação L/D; (ii) os modos de fraturamento são dependentes da taxa de deformação e da forma do corpo de prova, de tal modo que quando a taxa de deformação situou-se abaixo de 10^{-3} s^{-1} , o fraturamento vertical cerrado (*splitting*) predominou para os corpos de prova curtos enquanto as fraturas de cisalhamento (inclinadas) dominaram nos maiores e quando a taxa de deformação situou-se acima de 10^{-3} s^{-1} as rupturas cônicas passaram diretamente a inclinadas (de cisalhamento) e (iii) ao passar-se a corpos de prova com L/D = 3, ocorre uma queda abrupta de resistência atribuída pelos autores à possibilidade de flambagem da amostra.

À p 1678 Liang et al (2016) apresentam diversas fotografias dos corpos de prova rompidos, formando uma espécie de matriz que mostra aspectos muito interessantes: (i) na série superior (com taxa de deformação de 10^{-5} s^{-1}) as rupturas iniciam-se (L/D = 1) como fraturamento subvertical cerrado, passando a mais espaçado (L/D = 1,5), difuso (L/D = 2) e, a partir de L/D = 2,5, inclinado (de cisalhamento); (ii) a segunda série (com taxa de deformação de 10^{-4} s^{-1}) inicia-se com fraturamento similar ao da primeira série (L/D = 1) mas mais verticalizado e, a partir da segunda (L/D = 1,5), o fraturamento inclinado aparece, tornando-se cada vez mais nítido à medida que aumenta o tamanho dos corpos de prova; (iii) a terceira série (com taxa de deformação de 10^{-3} s^{-1}) inicia-se com um fraturamento vertical quase um esmagamento (L/D = 1) que toma forma cônica centrada quando L/D = 1,5, transicionando, a seguir (L/D = 2), para rupturas inclinadas (L/D = 2,5) e finalmente (iv), a

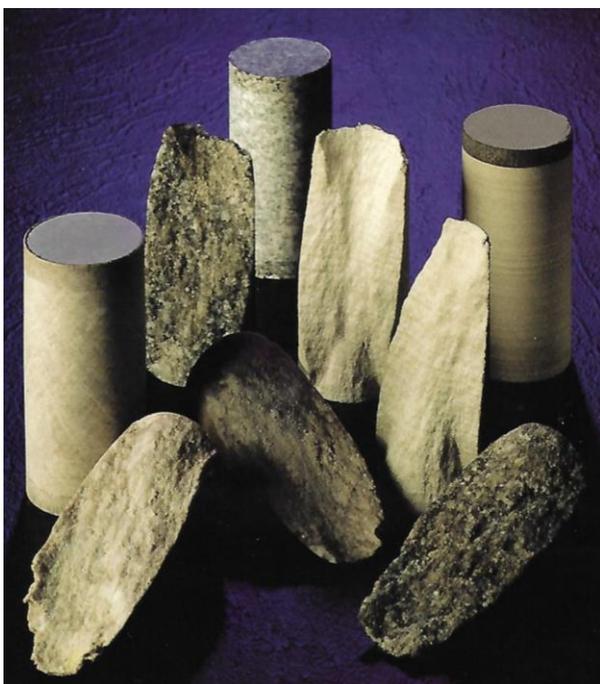
última série (com taxa de deformação de 10^{-2} s^{-1}) inicia-se com ruptura cônica, mantendo-se assim na foto seguinte ($L/D = 1,5$), para finalmente chegar a rupturas inclinadas mas muito densas mostrando grande fragilidade da rocha, nessas condições.

Liang et al (2016 p 1680) concluem: “O fraturamento axial é o modo intrínseco de ruptura dos materiais frágeis em resposta aos esforços compressivos macroscópicos [...]. entretanto, no presente estudo aconteceram diversos modos de fraturas causados [...] por diferentes formas (L/D) que induziram variáveis estados de distribuição de tensões”.

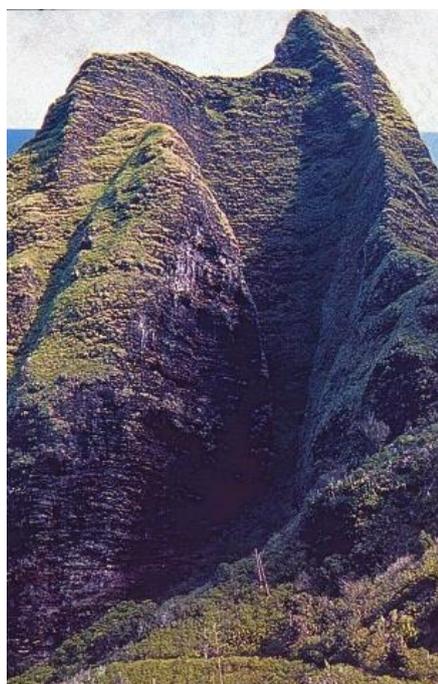
3. UM TIPO PARTICULAR DE RUPTURA EM CORPOS DE PROVA ROCHOSOS

A Foto 1a, tomada de um comercial de software da MTS System Corporation, de 1993 e cedido por cortesia ao autor, chama a atenção porque não se enquadra em nenhuma das formas discutidas. Nela podem ser observados três corpos de prova com $L/D = 2$, antes da ruptura, dispostos formando um triângulo e, ao centro, os mesmos corpos de prova depois da ruptura à compressão simples. Podem ser distinguidos corpos de prova de uma rocha granítica; de uma rocha aparentemente sedimentar de grão fino, coloração clara e com estratificação horizontal delgada, bem marcada (e que, em razão dessa horizontalidade, tem pequeno efeito em termos de comportamento da ruptura) e de uma rocha, também de coloração clara, mas maciça (sem estratificação ou outro tipo de estrutura aparente). A Foto 1b, obtida da Internet, mostra uma montanha cujo interior lembra bastante as formas da ruptura da Foto 1a.

A observação da Foto 1a mostra que as rupturas são côncavo-convexas podendo-se observar que as duas extremidades do corpo de prova apresentam formas similares, mas em posições invertidas. Infelizmente não puderam ser obtidos detalhes sobre os ensaios realizados, a não ser a relação $L/D = 2$. As Fotos 1b e 2b mostram conformações similares desenvolvidas em massas rochosas expostas a outros tipos de esforços naturais.



(a)



(b)

Foto 1. (a) Ruptura côncavo/convexa em corpos de prova de rocha. Fonte: MTS Systems Corporation (Cortesia); (b) Rupturas no interior de uma montanha rochosa. Fonte: Internet.

4. O CASO DAS RUPTURAS EM CORPOS DE PROVA DE SOLOS E EM MACIÇOS NATURAIS E ARTIFICIAIS

Discorrendo acerca de ensaios de compressão axial sobre corpos de prova cilíndricos de solos argilosos residuais, Vargas (1951 p. 69) coloca a possibilidade, de quatro tipos de ruptura: (i)

“por tração” (vertical); (ii) “por cisalhamento” (inclinada); (iii) “complexa - tração cisalhamento” (inclinada em ângulo maior) e (iv) “generalizada” (embarrigamento). Vargas (p 69) informa ainda que os ângulos de inclinação, no caso de cisalhamento, situam-se geralmente entre 55 e 65°, sendo, entretanto, “relativamente comum observar-se deslizamentos com inclinações mais íngremes...”

Para explicar a ruptura por tração em solos residuais submetidos a esforços de compressão, Vargas (1951 p 70) (Figura 1) postula que “quando por efeito de distribuição de cargas [...] rompem-se [...] pontos de aglutinação [...] estatisticamente dispostos de forma a aparecer uma fenda vertical, então ocorre uma ruptura por tração” (explicação que lembra a de Trollope, citada no item anterior) e “quando [...] os grãos deslizam uns sobre os outros, atritando-se entre si [...] ocorre a ruptura por cisalhamento”. Vargas (1951 p 69) explica a ocorrência de inclinações mais íngremes do que a do ângulo α por uma interação de esforços de tração com cisalhamento, a que denominou “ruptura complexa tração-cisalhamento” e, para o caso de embarrigamento, a explicação é de “uma ruptura por cisalhamento em múltiplos pontos da amostra” [...] “ao longo de uma infinidade de planos de ruptura”.

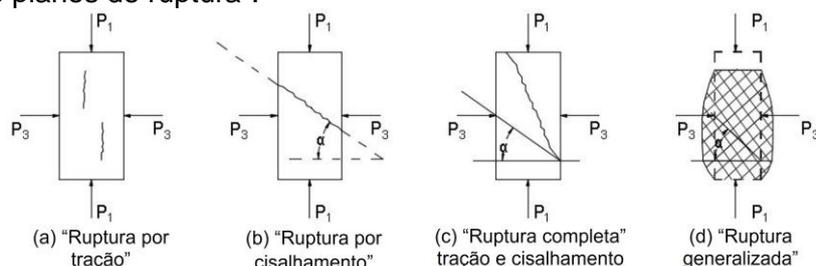


Figura 1. Tipos de rupturas em corpos de prova de solos. Fonte: Vargas, 1951.

No que respeita à questão das rupturas em massas de solo, atrás de estruturas de contenção, desde muito tempo atrás tem sido observado que elas não cumprem o previsto na teoria de Rankine (Século XIX) pois deveriam, similarmente ao previsto para o caso das rupturas de corpos de prova de rochas e solos (teoria de Mohr/Coulomb), constituir-se em retas inclinadas de ângulos iguais a $45^\circ + \phi/2$ mas “constituem-se em curvas que culminam por uma porção vertical” (Sir Benjamin Baker, Século XIX, in Spangler e Handy, 1973, p. 5), observações confirmadas por autores clássicos da Mecânica dos Solos do Século XX como Terzaghi e Peck (1966 p. 143-144), Taylor (1966 p 501-512) Spangler e Handy (1973 p 143-144) e Lambe e Whitman (1979 p 175 e 187).

Lopes (1981,1995, 2017, 2019) para explicar essa forma, faz uso da conhecida expressão, atribuída a Culmann, que relaciona alturas máximas estáveis com inclinações de encostas:

$$H_{cr} = (4c / \gamma) \{(\text{seni} \cos \phi) / [1 - (\cos i - \phi)]\} \quad (\text{Eq 1})$$

onde:

H_{cr} = altura máxima estável

c = coesão

γ = densidade natural do material

i = ângulo de inclinação

ϕ = ângulo de atrito do material

Para entendimento da geração dessa curva observada, esse autor simula uma encosta contida por uma estrutura de contenção em que esta última vai sendo rebaixada paulatinamente. Até o instante em que o rebaixamento da estrutura não expõe a face da massa de solo acima de sua altura crítica para a condição vertical, nada acontece, mas assim que esta é ultrapassada uma primeira ruptura ocorre, permanecendo, entretanto, a porção vertical em pé. A partir daí, à medida em que a estrutura continua a ser rebaixada, novas alturas críticas, para sucessivos pares altura/inclinação, são atingidas e ultrapassadas e, conseqüentemente, a ruptura prossegue, descrevendo uma curva composta por segmentos cada vez mais longos e com inclinações cada vez mais suaves, até que toda a altura da encosta seja redesenhada em sua porção exposta (Figura 2a). Essa curva, na realidade, constitui o eixo principal da ruptura e todas as seções ao seu redor são, também, afetadas, o que gera, pela rotação em torno do eixo apical, sólidos conchoidais, com a aparência mostrada na Figura 2b e nos taludes das Fotos 2a e 2b, bem como

a partir das extremidades do corpo de prova da Foto 1a. No caso de encostas naturais, o processo é desencadeado pelo intemperismo que reduz os valores de c e ϕ , levando a encosta ao redesenho ou a uma ação externa: antrópica, meteorológica etc.

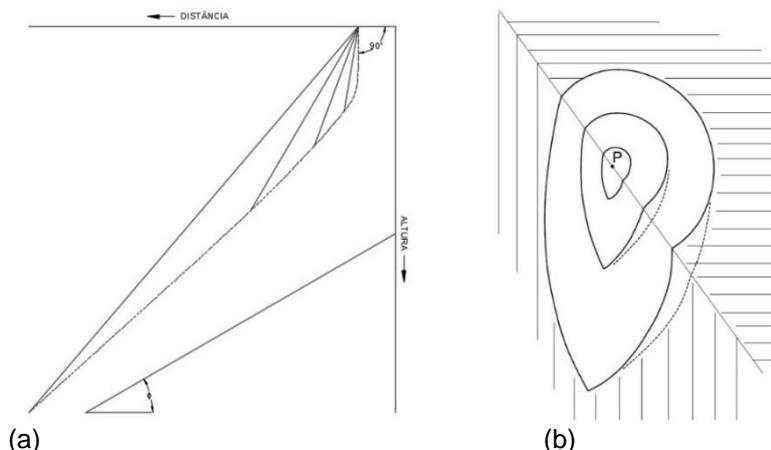
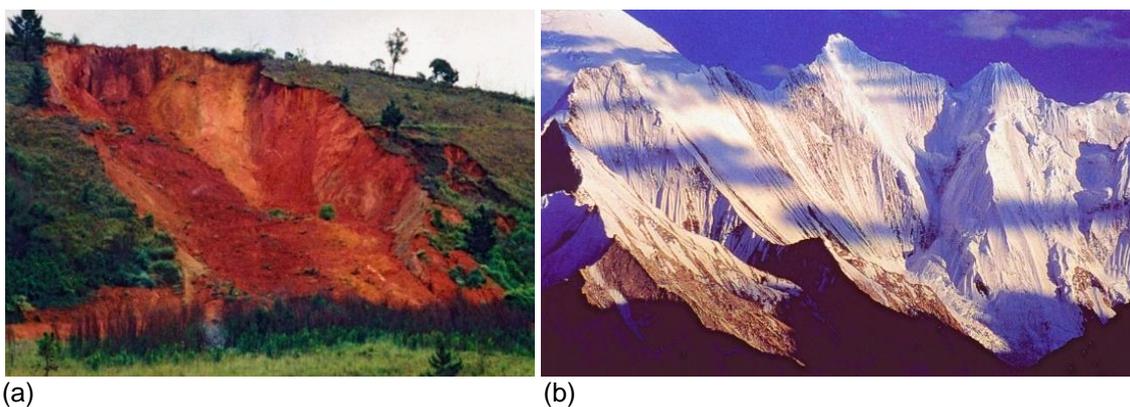


Figura 2. (a) Forma da seção principal da superfície de ruptura em uma massa de solo atrás de uma estrutura de contenção (b) Superfícies potenciais de ruptura atrás de uma estrutura de contenção. Fonte: Lopes (1997, p. 96).

As Fotos 2a e 2b, a seguir retratam cicatrizes de ruptura em maciços de solos e de rochas, onde a forma das superfícies de ruptura se ajusta, perfeitamente, à épura invertida de Culmann.



Fotos 2. (a) Cicatriz de ruptura desenvolvida no talude de um corte na BR-116/PR/SP Brasil. (Fonte: o autor); (b) encostas produzidas por abrasão glacial. Fonte: Internet.

5. DISCUSSÃO ACERCA DO TIPO DE RUPTURA MOSTRADA NA FIGURA 1a

Retornando-se ao item anterior e à expressão de Culmann, se a ação da gravidade representada pela densidade aparente do material γ (que gera compressão), for substituída pela força exercida pela máquina, no instante da ruptura do corpo de prova, é possível imaginar-se que essa mesma “épura” (e conseqüentemente os sólidos de ruptura mostrados na Figura 2b e nas Fotos 2a e 2b) se formem nas duas extremidades do corpo de prova (Foto 1a).

Como não dispunha dos valores reais dos ensaios referentes aos corpos de prova mostrados na Foto 1a, o autor optou por buscar valores disponíveis na literatura e adotou os constantes em “Propriedades típicas de uma massa de rocha de muito boa qualidade” apresentada por Hoek (1998 p 157): (i) resistência da rocha intacta (σ_{ci}) = 150 MPa; (ii) resistência coesiva (c') = 13 MPa e (iii) ângulo de atrito (ϕ') = 46° que foram utilizadas para calcular a “épura invertida” e compará-la com as formas da ruptura constantes da Foto 1a. A Figura 3 apresenta o resultado dessa simulação no caso de um corpo de prova com altura igual a 10 cm e diâmetro igual a 5 cm (L/D igual a 2) que é o formato dos constantes da Foto 1a e, em seqüência, para os casos de $L/D = 1$ e $L/D = 3$.

Na Figura 3a é possível verificar a similaridade dessa curva com a forma das rupturas da Foto 1a. A Figura 3b, por sua vez, apresenta essa mesma curva desenhada em ambas as

extremidades de um corpo de prova com altura de 5 cm e diâmetro idêntico ($L/D = 1$) e seu aspecto não é muito diferente do mostrado por diversos autores e em diversas publicações, como por exemplo, a Foto apresentada por Lyang et al (2016) à p 1678 correspondente a um corpo de prova com idêntica relação L/D e velocidades de deformação de 10^{-5} e 10^{-4} s^{-1} e, em menor grau, com corpos de prova de $L/D = 1,5$, e velocidade de deformação de 10^{-5} . Finalmente, na Figura 3c, onde as curvas estão inseridas num corpo de prova com $L/D = 3$, estas não são muito diferentes do mostrado nas fotos apresentadas pelos mesmos autores (Lyang et al 2016) à mesma página, para corpos de prova com essa relação altura/diâmetro e velocidades de deformação de 10^{-5} , 10^{-4} e 10^{-3} s^{-1} e mesmo de 10^{-3} e $L/D = 2,5$. Mesmo a foto do corpo de prova com $L/D = 2$ de Lyang et al, para velocidade de deformação de 10^{-2} lembra, até certo ponto, a curva da figura 3c.

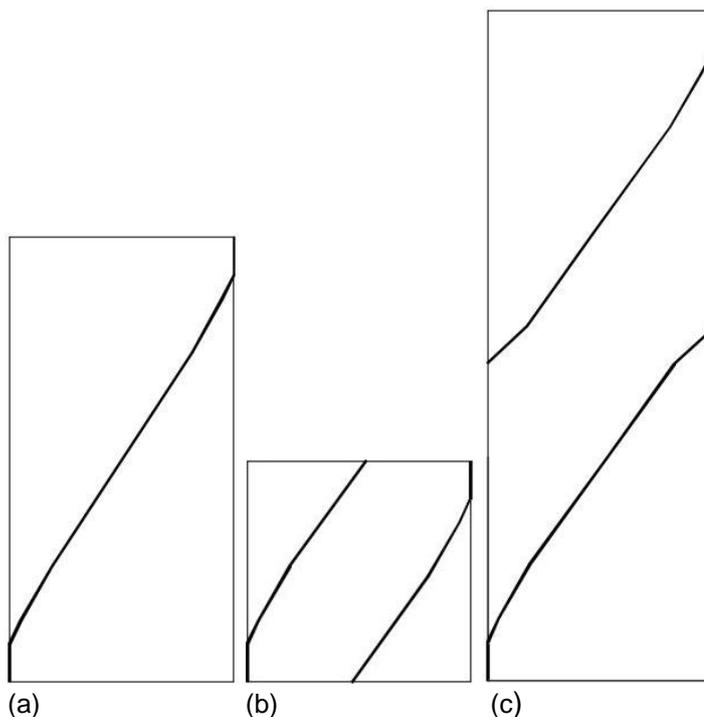


Figura 3. Superfícies de ruptura geradas em espécimes com diferentes dimensões: (a) $L/D = 2$; (b) $L/D = 1$; (c) $L/D = 3$. Fonte: o autor.

6. CONCLUSÕES

À uma primeira vista pode parecer estranho colocar-se, sob um mesmo compartimento, materiais diferentes, como solos e rochas, constituindo pequenos corpos de prova e também grandes massas, submetidos a condições, também diferentes: forças de compressão produzidas por máquinas de laboratório e força da gravidade. Entretanto, evidências mostram que os produtos finais, em ambos os casos podem resultar em feições similares, eventualmente diferentes das tradicionalmente assumidas pelas teorias. Pequenas amostras de solos e rochas não são rompidas pela atuação simples da gravidade, em razão de suas massas e dimensões e de suas resistências intrínsecas, entretanto, grandes massas são suscetíveis ao rompimento pela ação dessa mesma força que cumulativamente supera essas resistências. Corpos de prova de solos e rocha necessitam de esforços de compressão produzidos por máquinas que permitem valores mais elevados de esforços. No caso de massas de solos, essas rupturas ocorrem mais frequentemente, incluindo, usualmente, maiores volumes que no caso de rochas em razão de seus menores parâmetros de resistência e de sua natureza particularizada. Além disso, rupturas em solos razoavelmente espessos e homogêneos costumam incluir grandes massas e um padrão (épura de Culmann invertida - Foto 2a) enquanto que, no caso de rochas, os “defeitos” (juntas, falhas etc.) comandam as rupturas e, conseqüentemente, não há um padrão definido, a não ser quando a gravidade atua, inicialmente, de modo indireto e essas mesmas massa são “lapidadas” por agentes como o gelo (incluindo fragmentos de rocha), sob a forma de movimentos de talude que produzem abrasão na encosta gerando sólidos conchoidais semelhantes aos desenvolvidos em massas de solos (Foto 2b), cujo limite é a curva de Culmann..

Por outro lado, ainda que extremamente engenhosos, do ponto de vista físico/matemático, os modelos de Mohr/Coulomb/Rankine não conseguem ajustar-se, a não ser em poucos casos, à realidade de rochas e solos, seja no caso de rupturas em laboratório, seja no de grandes massas expostas, apesar das inúmeras tentativas de adaptá-los às observações efetuadas. Assim sendo e considerando-se que “a verdade científica é a hipótese que melhor atende aos fatos observados até que uma nova hipótese mais adequada a substitua”, não resta alternativa a não ser o aperfeiçoamento dos modelos em voga ou a geração de uma nova hipótese mais adequada e que considere, não apenas a distribuição idealizada de tensões nos corpos rochosos, mas as evidências empíricas consistentes, disponíveis.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece a Ângela Lucia da Silva pelo auxílio na confecção deste trabalho e a Álvaro Rodrigues dos Santos que leu e fez sugestões ao presente trabalho.

REFERENCIAS

- DUNCAN, N. *Engineering Geology & Rock Mechanics*. v 1, Leonard Hill Ed. London 1969 252 p.
- HOEK, E *Rock Engineering -The application of modern techniques to underground design* Kochen R. & Cella P. Organiziers São Paulo SP 1998 268 p.
- LAMBE, T.W.; WHITMAN, R. V. *Soil mechanics*, SI Version New York John Wiley & Sons 1979 553 p.
- LOPES, J. A. U. (1981) *Algumas Considerações sobre a Estabilidade de Taludes em Solos Residuais e Rochas Sedimentares Sub-horizontais*. Anais do III Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, Itapema, Santa Catarina, v. 3, 167-186.
- LOPES, J. A. U. (1995) *Os Movimentos Coletivos dos Solos e a Evolução das Encostas Naturais nas Regiões Tropicais e Subtropicais Úmidas*. M Sc. tese, Universidade Federal do Paraná, Curitiba – Paraná, 157 p.
- LOPES, J. A. U. *Encostas Evolução, Equilíbrio e Condições de Ocupação* Editora Alcance Porto Alegre 2017 342 p
- LOPES, J. A. U. (2019) *Considerations about the so Called “Scars Method”* Proceedings of the National Symposium on Engineering Geology and Geotechnics. ENGCEO’ 2019, Denizli, Turkey, p. 227-234.
- LYANG, C. Y.; ZHANG, Q. B.; LI, X et al The effect of specimen shape and strain rate on uniaxial compressive behavior of rock material In: *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* Vol 75 N. 4 p 1669-1681 November 2016.
- MTS Systems Corporation Application software for rock mechanics testing Flyer 1993.
- SANTOS, A. R. (1976) *Por menos ensaios e instrumentações e por uma maior observação da natureza* Anais do I Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia Rio de Janeiro vol. 1: p. 177-185.
- STAGG, K. G.; ZIENKIEWICZ, O. C. *Mecánica de rocas en la ingeniería práctica* Madrid Editorial Blume 1970 398 p.
- SPANGLER, M. G.; HANDY, R. L. (1973) *Soil Engineering (3rd ed.)*. New York: Intext International, 748 p.
- TERZAGHI, K; PECK, R. B. (1966) *Soil Mechanics in Engineering Practice (2nd ed.)*. New York: John Wiley & Sons, 566 p.
- TIMOSHENKO, S. P. *Resistência dos Materiais* Rio de Janeiro Ao Livro Técnico S. A. Editora 1967 Vol 1 451 p Vol 2 518 p.
- VARGAS, M. *Resistência e compressibilidade de argilas residuais* São Paulo 1951 146 p Tese Escola Politécnica Universidade de S. Paulo.