



# APLICAÇÃO DO CRITÉRIO DE RUPTURA DE HOEK-BROWN NA ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE TALUDES

## RESUMO

Os taludes em rocha quando não possuem a cinemática condicionada pelas discontinuidades podem ser analisados como um meio contínuo equivalente e neste caso um critério de ruptura apropriado deve ser utilizado. O critério de Hoek-Brown permite representar a resistência do maciço rochoso adequadamente. A determinação dos parâmetros de resistência do critério de Hoek-Brown pode ser realizada facilmente com o conhecimento da resistência a compressão simples da rocha, da litologia e da condição do maciço rochoso, representada pelo fraturamento e condição das discontinuidades. O método de Bishop simplificado é muito utilizado na análise de estabilidade de taludes, entretanto sua formulação original utiliza o critério de ruptura de Mohr-Coulomb. O presente trabalho descreve a implementação computacional de uma variação da formulação do método de Bishop simplificado que considera o critério de ruptura de Hoek-Brown linearizado em função da tensão normal na base da fatia. O programa implementado reproduziu bem dados da literatura técnica.

## 1 INTRODUÇÃO

O método simplificado de análise de estabilidade de taludes proposto por Bishop (1955) é um dos mais utilizados em aplicações práticas. O método calcula o fator de segurança para um círculo potencial de ruptura e garante

**Paulo Gustavo C. Lins**  
Universidade Federal da Bahia  
Salvador, Bahia  
plins@ufba.br

**Rômulo S. Vilares Filho**  
Universidade Federal da Bahia  
Salvador, Bahia  
romulovilares@hotmail.com

**Daniel Santos de Santana**  
Universidade Federal da Bahia  
Salvador, Bahia  
daniel.santana.engminas@gmail.com

o equilíbrio de momentos. O critério de ruptura utilizado na formulação original de Bishop (1955) é o critério de Mohr-Coulomb. Para a análise de taludes em rocha é necessário um critério que seja capaz de representar a resistência do maciço rochoso de forma apropriada.

Esse critério de ruptura de Hoek-Brown foi proposto por Hoek e Brown (1980a) e Hoek e Brown (1980b) em uma tentativa de prover dados de entrada para análises requeridas para o projeto de escavações subterâneas em rocha competente. O critério foi criado a partir dos resultados de pesquisas sobre a ruptura frágil de rocha intacta conduzidas por Evert Hoek e estudos sobre o comportamento de maciços rochosos fraturados conduzidos por Edwin T. Brown. O critério parte de propriedades de rocha intacta e introduz fatores que

reduzem estas propriedades com base nas características das discontinuidades no maciço rochoso (Hoek *et al.*, 2002). Para ligar o critério empírico com as observações geológicas, os autores utilizaram inicialmente a classificação geomecânica *RMR*. O critério sofreu diversas atualizações, sendo que a versão apresentada por Hoek *et al.* (2002) será utilizada como referência neste trabalho. O critério de Hoek-Brown vem sendo utilizado por diversos pesquisadores na área de Mecânica das Rochas.

O presente trabalho descreve a implementação computacional do método de Bishop com o critério de ruptura de Hoek-Brown, que é não linear. O algoritmo utilizado nesta implementação foi modificado a partir do que foi proposto por Wyllie e Mah (2004), neste algoritmo a expressão de Hoek-Brown é linearizada e empregada nas equações das hipóteses de Bishop.

## 2 CRITÉRIO DE HOEK-BROWN

Segundo Hoek *et al.* (2002), o critério de Hoek-Brown generalizado é dado pela expressão:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \left( m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

Na equação anterior  $\sigma_{ci}$  é a resistência a compressão simples da rocha intacta. Para representar ao aumento da resistência da rocha intacta com o aumento do confinamento é utilizado o parâmetro  $m_i$ , valores de referência

para  $m_i$  são apresentados na Tabela 1. Para o maciço rochoso é utilizado um parâmetro  $m_b$  que é um valor reduzido da constante do material  $m_i$ , e é dado por:

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right)$$

As constantes para o maciço rochoso  $s$  e  $a$  dadas pelas seguintes relações:

$$s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6}\left(e^{-GSI/15} - e^{-20/3}\right)$$

O parâmetro  $GSI$  (*Geological Strength Index*) foi proposto por Hoek (1994) e Hoek *et al.* (1995) em substituição ao  $RMR$  para relacionar o critério de ruptura com as observações geológicas de campo. O  $GSI$  passou por muitas atualizações, uma atualização recente é a de Hoek *et al.* (2013) que apresentaram um ábaco no qual o  $GSI$  pode ser estimado a partir da estrutura (fraturamento) do maciço e da qualidade das descontinuidades, o qual está apresentado na Figura 2. Hoek *et al.* (2013) possibilitam quantificar a estrutura do maciço pelo  $RQD$ , e para quantificar a condição das descontinuidades pelos pesos da classificação  $RMR$  para a condição das descontinuidades de Bieniawski (1989), denominados de  $JCond_{89}$ , e apresentados na Tabela 2. Assim, o  $GSI$  pode ser determinado pela relação:

$$GSI = 15 \cdot JCond_{89} + RQD/2$$

O parâmetro  $D$  é um fator que depende do grau de perturbação que o maciço rochoso foi submetido devido ao dano causado pelo desmonte e relaxação de tensões. O parâmetro  $D$  varia de 0 para maciços não perturbados até 1 para maciços muito perturbados. Hoek *et al.* (2002) apresentam orientações para seleção do parâmetro  $D$ , estas orientações são apresentadas a seguir.

Para desmonte de excelente qualidade ou escavação por tuneladora resultando em mínima perturbação da rocha

confinada no entorno do túnel, recomenda-se valor de  $D = 0$ .

Para escavação mecânica ou manual em maciço de qualidade pobre (sem desmonte) resultando em perturbação mínima ao maciço do entorno, recomenda-se  $D = 0$ . Para a mesma condição de escavação sem arco invertido, quando problemas de deformação lenta (*squeezing*) resultarem em significativo levantamento do piso, a perturbação pode ser severa a menos que um arco invertido provisório seja executado, assim recomenda-se  $D = 0,5$ .

Para desmonte de qualidade muito ruim em rocha dura resulta em dano local severo, excedendo 2 ou 3 metros no maciço do entorno, recomenda-se  $D = 0,8$ .

Para taludes de engenharia civil de pequena escala resultam em dano modesto no maciço rochoso, particularmente se desmonte controlado é utilizado, quando se obtém um bom desmonte recomenda-se  $D = 0,7$ . Entretanto, se o alívio de tensões resulta em alguma perturbação, e o desmonte for pobre, recomenda-se  $D = 1,0$ .

Em minas a céu aberto muito profundas, os taludes podem sofrer perturbação significativa devido a desmonte de produção pesada e também a alívio de tensões pela remoção da sobrecarga, se for utilizado desmonte de produção, recomenda-se  $D = 1,0$ . Em algumas rochas brandas a escavação pode ser realizada por escarificação e transporte e o grau de dano ao talude é menor, neste caso recomenda-se  $D = 0,7$ .

A resistência à compressão simples do maciço rochoso é obtida fazendo  $\sigma_3 = 0$  na equação do critério de Hoek-Brown generalizado, fornecendo:

$$\sigma_c = \sigma_{ci} \cdot S^a$$

A resistência a tração é obtida fazendo  $\sigma_1 = \sigma_3 = \sigma_t$  na equação do critério de Hoek-Brown generalizado, fornecendo:

$$\sigma_t = \frac{S \sigma_{ci}}{m_b}$$

### 3 CRITÉRIO DE MOHR-COULOMB

Hoek *et al.* (2002) sustentam que muitos programas geotécnicos são

escritos ainda em termos do critério de ruptura de Mohr-Coulomb, e é necessário determinar ângulos de atrito e coesões equivalentes para o maciço rochoso e uma faixa de tensões.

Hoek *et al.* (2002) realizaram isto ajustando uma relação linear média a curva gerada pela solução da equação do critério de Hoek-Brown generalizado para a faixa de tensões definida por  $\sigma_t < \sigma_3 < \sigma_3^{max}$ , como ilustrado na Figura 1. O processo de ajuste envolveu o balanceamento de áreas acima e abaixo do gráfico de Mohr-Coulomb.

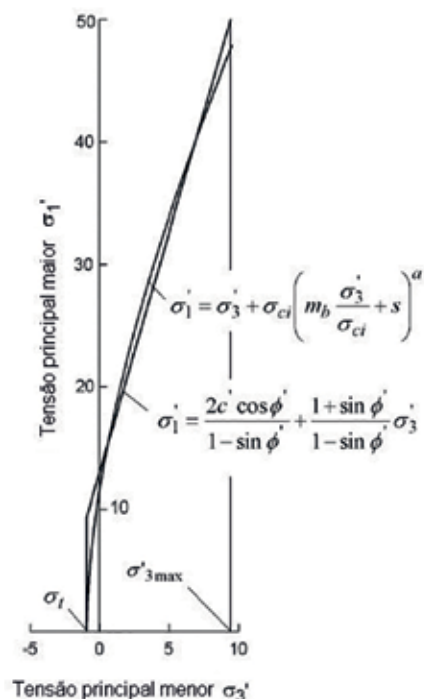


Figura 1 - Relações entre as tensões principais maior e menor para o critério de Hoek-Brown e critério de Mohr-Coulomb equivalente (Hoek *et al.*, 2002)

As expressões para o ângulo de atrito  $\Phi'$  e a coesão  $c'$  estão na Figura 3. Para utilizar aquelas expressões é necessário definir:

$$\sigma_{3n} = \frac{\sigma_{3max}}{\sigma_{ci}}$$

Hoek *et al.* (2002) destacam que o valor de  $\sigma_3^{max}$ , o valor do limite superior da tensão confinante sob a qual a re-

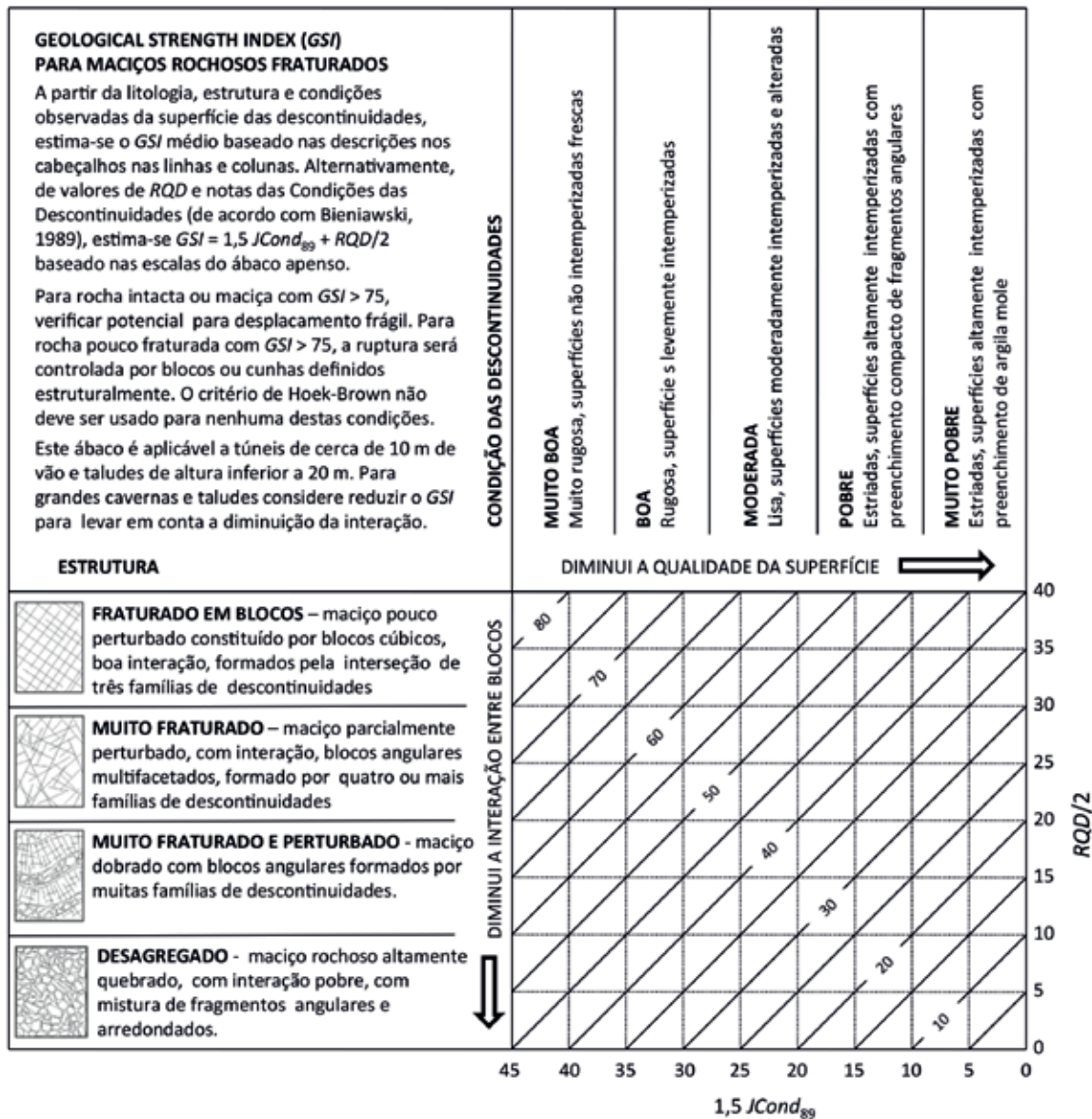


Figura 2 – Quantificação do GSI pela condição das descontinuidades e RQD (Hoek et al., 2013)

Tabela 1 – Valores da constante  $m_i$  para a rocha intacta, por grupo de rochas. Note-se que os valores entre parênteses são estimativas (HOEK, 2007)

Tipo de Rocha	Classe	Grupo	Textura			
			Grossa	Média	Fina	Muito Fina
SEDIMENTAR	Clástica		Conglomerado* (21±3) Brecha / (19±5)	Arenito / 17±4	Siltito / 7±2 Grauvaca / (18±3)	Argilito / 4±2 Folhelho / (6±2) Marga / (7±2)
		Carbonatas	Calcário Cristalino (12±3)	Calcário Espirítico (10±2)	Calcário Micrítico (9±2)	Dolomita / (9±3)
	Não-Clás- tica	Evaporíticas		Gipsita / 8±2	Anidrita / 12±2	
	Orgânica					Calcário Biogênico 7±2

Tipo de Rocha	Classe	Grupo	Textura			
			Grossa	Média	Fina	Muito Fina
METAMÓRFICA	Não-foliada		Mármore / 9±3	Hornfels / (19±4) Metarenito / (19±3)	Quartzito / 20±3	
	Levemente foliada		Migmatito / (29±3)	Anfibolito / 26±6		
	Foliada **		Gnaiss / 28±5	Xisto / 12±3	Filito / 7±3	Ardósia / 7±4
ÍGNEA	Plutônica	Ácida	Granito / 32±3	Diorito / 25±5		
			Granodiorito / (29±3)			
	Hipabissal	Básica	Gabro / 27±3 Norito / (20±5)	Dolerito / (16±5)		
			Porfiro / (20±5)		Diabásio / (15±5)	Peridotito / (25±5)
	Vulcânica	Lava		Riolito / (25±5) Andesito / 25±5	Dacito / (25±3) Basalto / (25±5)	Obsidiana / (19±3)
			Piroclásticas	Aglomerado / (19±3)	Brecha / (19±5)	Turfa / (13±5)

\* Conglomerados e brechas podem apresentar uma ampla extensão de valores de *mi* dependendo da natureza do material cimentante e do grau de cimentação, assim eles podem ter limites de valores similares a arenito até valores usados para sedimentos de granulação fina.

\*\* Estes valores são para amostras de rocha intacta ensaiadas na direção normal do acamamento ou da foliação. Os valores de *mi* serão significativamente diferentes caso a ruptura ocorra ao longo do plano de fraqueza.

**Tabela 2** – Pesos para as condições das descontinuidades, *JCond89* (Bieniawski, 1989)

CONDIÇÃO DAS DESCONTINUIDADES	SUPERFÍCIES MUITO RUGOSAS. NÃO PERSISTENTES. FECHADAS. PAREDES SEM ALTERAÇÃO	SUPERFÍCIES POUCO RUGOSAS. ABERTURA <1 MM. PAREDES LEVEMENTE ALTERADAS	SUPERFÍCIES POUCO RUGOSAS. ABERTURA <1 MM. PAREDES MUITO ALTERADAS	SUPERFÍCIES ESTRIADAS OU PREENCHIMENTO <5 MM. OU ABERTURA DE 1-5 MM. PERSISTENTES	PREENCHIMENTO >5 MM. OU ABERTURA >5 MM. PERSISTENTES
PESOS	30	25	20	10	0

Recomendações para a classificação da condição das descontinuidades.

PERSISTÊNCIA	<1 M	1-3 M	3-10 M	10-20 M	>20 M
PESOS	6	4	2	1	0
ABERTURA	NENHUMA	<0,1 MM	0,1-1,0 MM	1-5 MM	>5 MM
PESOS	6	5	4	1	0
RUGOSIDADE	MUITO RUGOSA	RUGOSA	POUCO RUGOSA	SUAVE	ESTRIADAS
PESOS	6	5	3	1	0
PREENCHIMENTO	NENHUM	DURO, <5 MM	DURO, >5 MM	MOLE, <5 MM	MOLE, >5 MM
PESOS	6	4	2	2	0
ALTERAÇÃO	NÃO-ALTERADA	POUCO	MODERADA	ALTAMENTE	DECOMPOSTA
PESOS	6	5	3	1	0



lação entre o critério de Hoek-Brown e o critério de Mohr-Coulomb é considerada, deve ser determinado para cada caso individual. Orientações sobre a seleção de valores para taludes são expostas no item 5.

A resistência ao cisalhamento de Mohr-Coulomb  $\tau$ , para uma dada tensão normal é encontrada substituindo os valores de  $\Phi'$  e  $c'$  na equação:

$$\tau = c' + \sigma \tan \phi'$$

O gráfico equivalente, em termos de tensões principais maior e menor, é definida por:

$$\sigma_1 = \frac{2c' \cos \phi'}{1 - \sin \phi'} + \frac{1 + \sin \phi'}{1 - \sin \phi'} \sigma_3$$

#### 4 RESISTÊNCIA DO MACIÇO ROCHOSO

Hoek *et al.* (2002) destacam o conceito de resistência do maciço rochoso, esta resistência pode ser determinada a partir da relação de com os parâmetros de Mohr-Coulomb pela expressão:

$$\sigma_{cm}' = \frac{2c' \cos \phi'}{1 - \sin \phi'}$$

Com  $f'$  e  $c'$  determinados para uma faixa de tensões de  $\sigma_t < \sigma_3 < \sigma_{ci}'/4$ , obtendo:

$$\sigma_{cm}' = \sigma_{ci}' \frac{(m_b + 4s - a \cdot f)(g)^{a-1}}{2(1+a)(2+a)}$$

onde:

$$f = (m_b - 8s)$$

$$g = (m_b/4 + s)$$

#### 5 DETERMINAÇÃO DE $\sigma_3^{\text{max}}$

Hoek *et al.* (2002) apresentam uma discussão sobre a determinação de valores apropriados de  $\sigma_3^{\text{max}}$ , e por consequente  $\sigma_3^n$ , para uso nas equações para determinação do ângulo de atrito  $\Phi'$  e da coesão  $c'$ , dependendo da aplicação específica. Para estudos de taludes o fator de segurança calculado e a forma e localiza-

ção da superfície de ruptura devem ser equivalentes.

Estudos para taludes, utilizando o método de Bishop, para superfícies de ruptura circulares para um amplo leque de geometrias de taludes e propriedades do maciço rochoso, levaram a equação:

$$\frac{\sigma_3^{\text{max}}}{\sigma_{cm}'} = 0,72 \left( \frac{\sigma_{cm}'}{H} \right)^{-0,91}$$

Onde  $H$  é a altura do talude.

#### 6 ANÁLISE DE ESTABILIDADE

A equação do método simplificado de Bishop (1955) pode ser encontrada reescrita para possibilitar a representação do critério de ruptura de Hoek-Brown em Wyllie e Mah (2004). As convenções utilizadas por Wyllie e Mah (2004) para uma fatia e para o problema como um todo estão representadas na Figura 3.

A expressão para o fator de segurança (FS) está apresentada na Figura 3. Note-se que esta expressão é função da tensão normal na base da fatia ( $\sigma$ ). Para o método de Fellenius, a expressão para tensão normal na base da fatia ( $\sigma$ ) é direta. Já para o método de Bishop a expressão para tensão normal na base da fatia ( $\sigma$ ) é função do próprio fator de segurança, o que pode ser resolvido por um método iterativo.

##### 6.1 Algoritmo utilizado

Um procedimento para cálculo do fator de segurança com o método simplificado de Bishop é apresentado por Wyllie e Mah (2004). Este algoritmo foi implementado em um programa Pascal no Ambiente Integrado de Desenvolvimento Lazarus (Lazarus and Free Pascal Team, 2014). O algoritmo é apresentado a seguir, com as pequenas modificações com que foi implementado:

- 1) Calcular a tensão normal efetiva  $\sigma'$  atuando na base de cada fatia por meio da equação de Fellenius.
- 2) Utilizando os valores de  $s'$ , calcular  $\Phi'$  e  $c'$  para cada fatia.
- 3) Substituir estes valores de  $\Phi'$  e  $c'$  na equação do fator de segurança para obter a primeira estimativa do fator de segurança.
- 4) Utilizar esta estimativa do fator de segurança para calcular um

novo valor de  $\sigma'$  na base de cada fatia, utilizando a equação de Bishop.

5) Com base nestes novos valores de  $\sigma'$ , calcular novos valores para  $\Phi'$  e  $c'$ .

6) Calcular um novo fator de segurança para os novos valores de  $\Phi'$  e  $c'$ .

7) Se a diferença entre o primeiro e o segundo fator de segurança for maior que 0,001, retorne ao passo 4 e repita a análise, utilizando o novo fator de segurança como entrada. Repita este procedimento até que a diferença entre fatores de segurança sucessivos seja inferior a 0,001.

Segundo Wyllie e Mah (2004), cerca de dez iterações serão necessárias para que a tolerância requerida seja alcançada no cálculo do fator de segurança.

#### 7 TESTES DO PROGRAMA

Para testar o programa implementado foi selecionado um caso analisado por Hammah *et al.* (2005). O exemplo é um talude de 10 metros de altura, com uma inclinação de 45°, em um maciço rochoso homogêneo. Os parâmetros do critério de ruptura de Hoek-Brown generalizado, utilizados por Hammah *et al.* (2005), estão apresentados na Tabela 3. Hammah *et al.* (2005) realizaram análises com métodos de equilíbrio limite convencionais e realizaram a determinação do fator de segurança com análises por elementos finitos com a técnica de RRC (Redução da Resistência ao Cisalhamento).

Na técnica de redução da resistência ao cisalhamento com elementos finitos são realizadas várias análises, em cada uma os parâmetros de resistência são divididos por um valor. Esse valor que leva o deslocamento de um ponto de controle a uma variação muito grande define o fator de segurança. A Figura 4 mostra os contornos de máxima deformação cisalhante para o talude na análise que define a ruptura, os contornos revelam o mecanismo de ruptura previsto pela técnica da redução da resistência ao cisalhamento. Os fatores de segurança obtidos por Hammah *et al.* (2005) são apresentados na Tabela 4. Os resultados são para análises com a envoltória de Mohr-Coulomb equivalente, além de análises com o critério de ruptura de Hoek-Brown generalizado diretamente. O mesmo exemplo foi analisado com o programa desenvolvido para este tra-

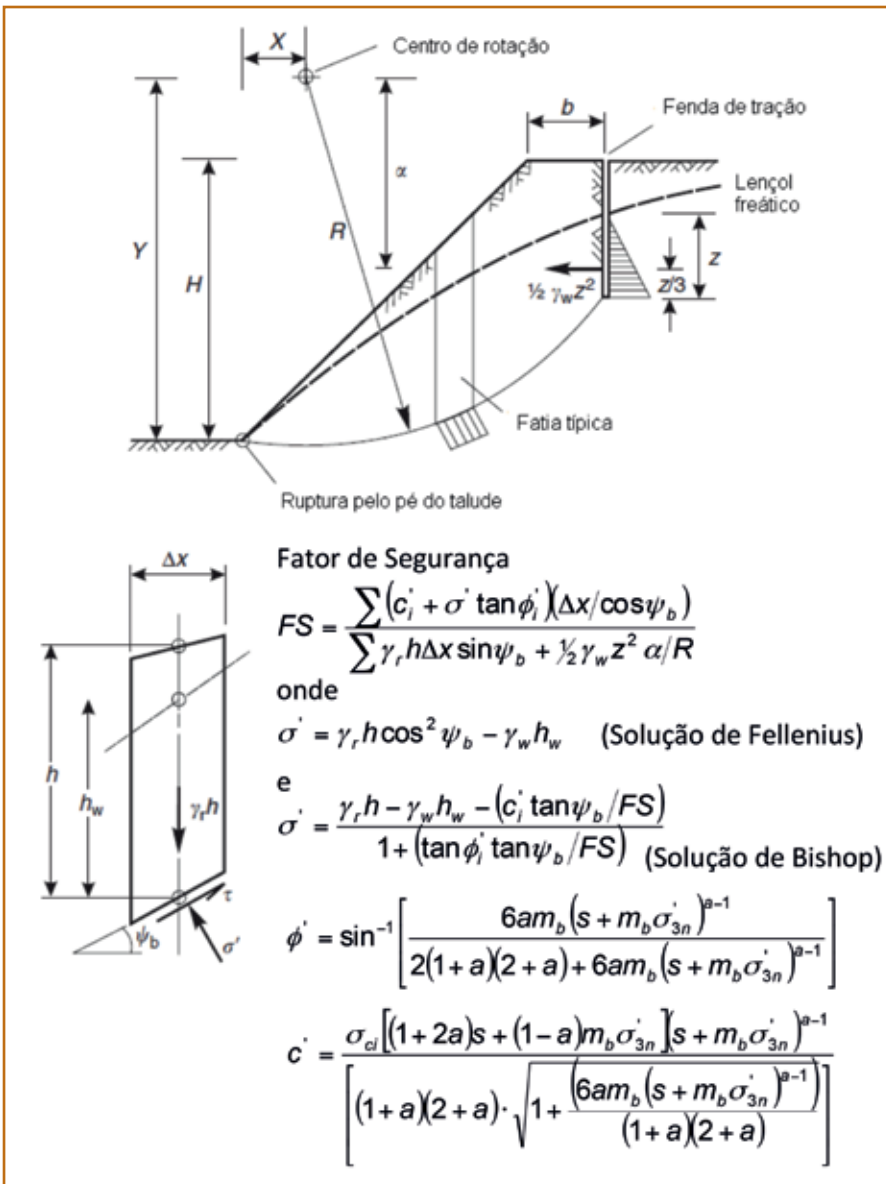
**Tabela 3** – Propriedades do maciço rochoso do exemplo estudado por Hammah *et al.* (2005)

PROPRIEDADE	VALOR
YOUNG, E (MPa)	5000
POISSON, $\nu$	0,3
$\gamma$ (MN/M <sup>3</sup> )	0,025
$\sigma_{ci}$ (MPa)	30
GS/	5
PARÂMETRO $M_1$	2
FATOR PERTURBAÇÃO, D	0
PARÂMETRO $M_B$	0,067
PARÂMETRO S	2,5E-5
PARÂMETRO A	0,619

**Tabela 4** – Fatores de segurança obtidos por Hammah *et al.* (2005)

MÉTODO	FS
EF TÉCNICA RRC	
HOEK-BROWN GENERALIZADO	1,15
MOHR-COULOMB EQUIVALENTE	1,15
EQUILÍBRIO LIMITE	
BISHOP SIMPLIFICADO	1,153
MÉTODO DE SPENCER	1,152

Um destaque que deve ser feito é que existem pequenas diferenças nos resultados descritos neste trabalho com relação aos resultados de uma versão anterior, em Fortran, do programa que foi relatada por Santana e Lins (2014). As diferenças devem-se principalmente a refinamentos na busca da superfície crítica. Nesta versão do programa, a busca pela superfície de ruptura crítica é realizada

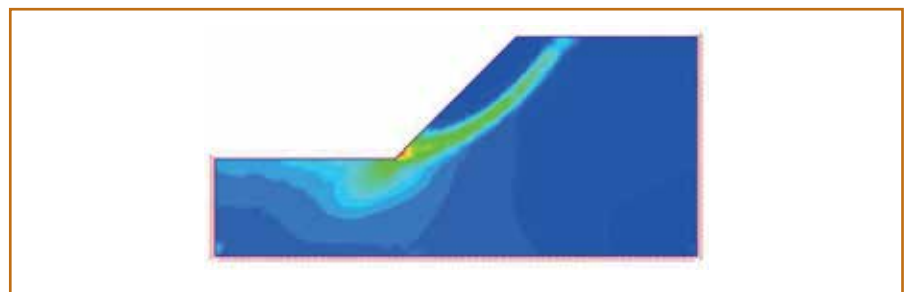


**Figura 3** – Método de Bishop simplificado, para um material que utiliza o critério de Hoek-Brown (Wyllie e Mah, 2004)

balho. Para análises com a envoltória de Mohr-Coulomb equivalente às equações do item 5 e da Figura 3 forneceram  $\sigma'_{3max} = 0,189$  MPa,  $\Phi' = 20,89^\circ$  e  $c' = 0,02$  MPa. O fator de segurança obtido com estes parâmetros foi de 1,172. Isto significa um erro de 1,6% em relação ao resultado obtido pelo método de Bishop simplificado por Hammah *et al.* (2005). O programa convergiu após quatro iterações. Esta análise serve para confirmar também que a equação do fator de segurança da Figura 3 foi implementada de forma adequada.

Na análise com o critério de Hoek-Brown generalizado o fator de segurança obtido foi de 1,119, o que sig-

nifica um erro de -2,9% em relação ao resultado obtido pelo método de Bishop simplificado por Hammah *et al.* (2005). O programa convergiu após quatro iterações.



**Figura 4** – Contornos de máxima deformação cisalhante na ruptura para o talude (Hammah *et al.*, 2005)

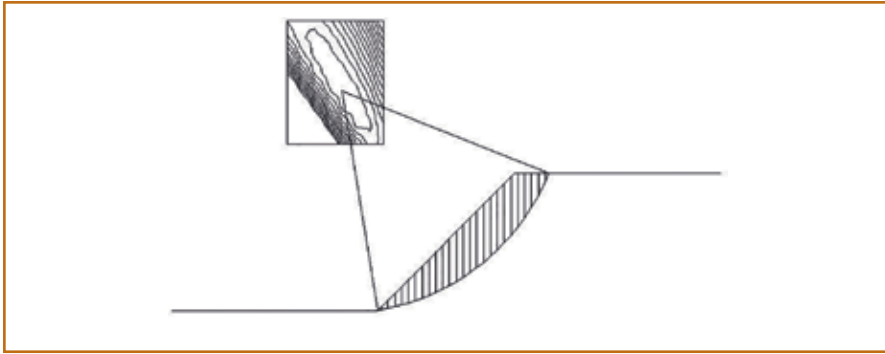


Figura 5 – Círculo crítico na análise com o critério de Hoek-Brown generalizado

em uma malha de centros, considerando que o círculo crítico passa por um ponto no pé do talude. Os contornos de igual fator de segurança devem definir um fundo de vale onde se identifica o fator de segurança mínimo. A Figura 5 ilustra o círculo crítico obtido para a análise com critério de Hoek-Brown generalizado.

## 8 CONCLUSÕES

O trabalho descreve a formulação para o critério de Hoek-Brown e procedimentos para estimativa de parâmetros do mesmo, permitindo a determinação de parâmetros que caracterizem a resistência do maciço rochoso em situações onde se deseja realizar análises de estabilidade de taludes.

Um programa computacional foi implementado utilizando um algoritmo que lineariza a envoltória de Hoek-Brown para utilização em uma nova formulação das hipóteses do método de Bishop simplificado.

Os testes do programa indicaram erros inferiores a 3% quando os resultados foram comparados com dados da literatura.

A linearização da equação de Hoek-Brown no algoritmo implementado é feita para um intervalo de tensões secantes a envoltória não linear. Uma crítica deve ser feita, sugere-se para estudos futuros que seja implementado uma linearização tangente a envoltória de Hoek-Brown, e a posição da tangente seja definida pela tensão normal a base da fatia. 🔄

## REFERÊNCIAS

Bieniawski, Z.T. (1989) *Engineering rock mass classifications*. New York, Wiley. 251p.  
 Bishop, A.W. (1955) The use of the slip circle in the stability analysis of slopes. *Geotechnique*, v.5, n.1, p.7-17.  
 Hammah, R.E.; Yacoub, T.E.; Corkum,

B.C. e Curran, J.H. (2005). The Shear Strength Reduction Method for the Generalized Hoek-Brown Criterion. *40th U.S. Symposium on Rock Mechanics*. Anchorage, Alaska.

Hoek, E. e Brown, E.T. (1980a). Empirical strength criterion for rock masses. *Journal of Geotechnical Engineering Division*, ASCE, v.106, No. GT9, p.1013-1035.

Hoek, E. e Brown, E.T. (1980b) *Underground Excavations in Rock*. London, Institution of Mining and Metallurgy. UK. 527p.

Hoek, E. (1994) Strength of rock and rock masses. *ISRM News Journal*, v.1, n.2, p.4-16.

Hoek, E.; Kaiser, P.K. e Bawden, W.F. (1995) *Support of underground excavations in hard rock*. Rotterdam, Balkema. 215p.

Hoek, E.; Carranza-Torres, C. e Corkum, B. (2002). Hoek-Brown criterion – 2002 edition. *5th North American Rock Mechanics Symposium*. Toronto, Canada. Vol. 1, p.267-273.

Hoek, E. (2007) *Practical Rock Engineering*. Disponível em: <[http://www.rocks-science.com/education/hoeks\\_corner](http://www.rocks-science.com/education/hoeks_corner)>. Acesso em: 3 de fevereiro de 2015.

Hoek, E.; Carter, T.G. e Diederichs, M.S. (2013) Quantification of the Geological Strength Index Chart. *47th U.S. Symposium on Rock Mechanics*. San Francisco, California.

Lazarus and Free Pascal Team (2014) *Lazarus*. Disponível em: <<http://www.lazarus.freepascal.org/>>. Acesso em 13 de março de 2014.

Santana, D. S. e Lins, P. G. C. (2014). *Análise de Estabilidade de Taludes Considerando a Envoltória de Ruptura de Hoek-Brown em 2D*. In: VI SBMR – Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas, Goiânia.

Wyllie, D.C. e Mah, C.W. (2004). *Rock slope engineering*. London, Spon Press. 431p.

**Fundações & Obras Geotécnicas**

Ao anunciar na revista *Fundações & Obras Geotécnicas* sua marca, empresa, produtos e serviços são divulgados para todo o setor de fundações e geotecnia. Além disso a revista conta com diversas plataformas para divulgação nos meios impresso e digitais, tais como: revista impressa, site, newsletter, e-mail marketing, canal de vídeos, dentre outros.

Seja anunciante na revista *Fundações & Obras Geotécnicas*.

Entre em contato e saiba mais: [publicidade@rudders.com.br](mailto:publicidade@rudders.com.br)  
 Telefone: (11) 3467-8770  
 (11) 2641-0871

[www.rudders.com.br](http://www.rudders.com.br)

**Anuncie**



**Fundações & Obras Geotécnicas**



# M&T EXPO 20

A N O S

A FEIRA ONDE  
OS NEGÓCIOS  
ACONTECEM

"A M&T EXPO oferece aos profissionais de compras o ambiente perfeito para a realização de bons negócios. Acredito que ela ocorrerá no melhor momento de 2015. Estaremos lá."

**Paulo Oscar Auler Neto,**  
**Odebrecht**  
Participa desde 1995



A M&T Expo Máquinas e Equipamentos, Feira e Congresso, segundo seus expositores e visitantes, é o ambiente perfeito para gerar bons negócios, tecnologia e conhecimento. A M&T EXPO ocorrerá no melhor momento de 2015 e oferecerá aos compradores mais de 500 expositores e 1.000 marcas em 110.000 m<sup>2</sup> de área. Esperamos por você.

DE 9 A 13 DE JUNHO DE 2015 | SÃO PAULO/SP | BRASIL | EVITE FILAS. CREDENCIE-SE AQUI [WWW.MTEXPO.COM.BR](http://WWW.MTEXPO.COM.BR)

Realização



**M&T**

GRANDES  
CONSTRUÇÕES

Local

SÃO PAULO EXPO  
Exposições e Congressos em Geral



**M&T EXPO**  
MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS

14ª Feira e Congresso Internacional de Equipamentos para Construção e  
1ª Feira e Congresso Internacional de Equipamentos para Mineração