

Avaliação da Estabilidade de Túneis em Rocha Via Simulação de Monte Carlo

Raphael Maia Soares

Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, raphael.soares@usp.br

Dimas Betioli Ribeiro

Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, dimasbetioli@gmail.com.

Gustavo Fracola da Silva

EBEI, São Paulo, Brasil, gfs6@gmail.com.

RESUMO: O complexo processo de formação dos maciços rochosos impõe complexidades nas propriedades dos mesmos, implicando em grande variabilidade das propriedades geométricas e de resistência das descontinuidades. A prática corrente da avaliação da estabilidade de túneis é realizada com base em resultados determinísticos de modelos analíticos, numéricos e ou na experiência de especialistas, e quase sempre com base no fator de segurança do método das tensões admissíveis. Uma maneira adequada para a determinação da segurança para a queda de blocos é a determinação da probabilidade de falha (p_f). Neste contexto é avaliada a estabilidade de um túnel não revestido escavado em rocha, pertencente à estrada de ferro Vitória Minas, da companhia Vale, utilizando a simulação de Monte Carlo acoplada ao *software* Unwedge da Rocscience®. Neste estudo as propriedades de orientação, persistência e resistência foram tratadas estatisticamente utilizando testes de aderência determinando-se a distribuição estatística mais adequada para cada uma destas. Posteriormente foram realizadas simulações de Monte Carlo com amostragem simples e hipercubo-latino para a determinação da probabilidade da queda de um bloco na seção do túnel, ora denominada de probabilidade de falha p_f . Foi mostrado que as incertezas presentes nas propriedades dos maciços rochosos afetam diretamente a avaliação da segurança de túneis em rocha, permitindo verificar elevados valores para a probabilidade de falha ($p_f > 0,1$). Sobre as características geométricas dos blocos instáveis na seção do túnel foi observado que a totalidade dos blocos prováveis de falha tem sua altura (h_{falha}) inferior à dimensão da escavação (B), $h_{falha}/B < 1$.

PALAVRAS-CHAVE: Túneis em rocha, simulação de monte carlo, probabilidade de falha.

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por obras subterrâneas, instaladas em grandes centros urbanos tem exigido criteriosos e sofisticados métodos de avaliação da segurança. Tradicionalmente, o dimensionamento e a avaliação da segurança de estruturas geotécnicas, principalmente as subterrâneas, são elaborados por meio de soluções analíticas, numéricas, do emprego da avaliação da instrumentação de campo e também por meio da experiência do corpo técnico envolvido no projeto e obra.

A caracterização estatística e a ponderação das incertezas das propriedades dos maciços

rochosos têm, ainda que timidamente, sido considerada em alguns projetos de obras subterrâneas em rocha no Brasil. Trabalhos como o de Soares *et al.*, (2014), Soares (2016), Maia (2003), Napa (2015) e Napa *et al.*, (2014) caracterizaram as propriedades estatísticas, tais como ângulo de atrito das, persistência das descontinuidades, etc.

Neste contexto este trabalho apresenta uma aplicação da técnica de simulação de Monte Carlo para a avaliação da estabilidade da queda de blocos em um túnel em rocha sem revestimento. O túnel escolhido para este estudo pertence a um conjunto de 44 túneis da estrada

de ferro Vitória Minas, e está localizado próximo as cidades de Ibirapu e João Neiva, no Estado do Espírito Santo.

2 ESTABILIDADE DE TÚNEIS EM MACIÇOS ROCHOSOS FRATURADOS

Em túneis escavados a baixas profundidades em meios rochosos fraturados, os principais mecanismos de instabilidade estão relacionados à queda de blocos do teto e das paredes das escavações. A necessidade da utilização de um sistema de suporte é, quase sempre, avaliada através das classificações geomecânicas, notadamente a de Bieniawski, (1989) e Barton *et al.*, (1974).

Um modo adequado para avaliação da estabilidade de túneis em maciços rochosos fraturados é o emprego do método de equilíbrio limite implementado no *software* Unwedge desenvolvido pela Rocscience®. Neste trabalho a avaliação da estabilidade dos blocos de rocha potencialmente instáveis em uma escavação subterrânea é elaborada através da teoria dos Blocos-Chave de Goodman e Shi (1985), combinada com a teoria de equilíbrio limite, implementados no *software* Unwedge®.

O método baseia-se na avaliação da resultante das forças resistentes e atuantes nos blocos de rocha potencialmente instáveis. O fator de segurança é calculado com base na equação:

O *software* Unwedge calcula, para cada bloco de rocha potencialmente instável, o fator de segurança através da equação (1).

$$FS = \frac{\sum_{i=1}^3 (J_i^u + T_i)}{A \cdot s}, \quad (1)$$

Sendo:

J_i : magnitude das forças resistentes cisalhantes da i -ésima descontinuidade;

T_i : magnitude das forças resistentes de tração da i -ésima descontinuidade;

A : vetor resultante das forças atuantes;

s : direção do deslizamento

Recentemente uma atualização do *software*

incorporou a técnica de simulação de Monte Carlo em um de seus pacotes, sendo então possível determinar além do fator de segurança determinístico uma estimativa razoável da probabilidade de queda de um bloco potencialmente instável.

3 PROPRIEDADES DOS MACIÇOS ROCHOSOS E SUA CARACTERIZAÇÃO ESTATÍSTICA

A caracterização estatística das propriedades dos maciços rochosos é de suma importância no desenvolvimento de um projeto de túnel em rocha, pois permite claramente identificar o grau de incerteza presente e seu reflexo na segurança das escavações. A preocupação com a caracterização estatísticas das incertezas em Mecânicas das Rocha é tema que vem sendo discutido desde a década de 1970 por autores como Priest e Hudson (1976) e Priest (1993).

A ISRM (1978) sugere uma série de descrições e terminologias para descrever as propriedades das descontinuidades de um maciço rochoso. Neste trabalho são apresentadas as principais características destas bem como suas propriedades estatísticas comumente utilizadas.

Orientação:

A orientação de uma descontinuidade no espaço é descrita, tradicionalmente, pela sua direção de mergulho (*Dip Direction*) e pelo seu ângulo de mergulho (*Dip*). Quando se trabalha com dados direcionais, utiliza-se a distribuição de Fisher (1953). Na distribuição de Fisher a população de vetores normais às descontinuidades fica distribuída em torno do valor verdadeiro. A probabilidade, $P(\theta)$, que o ângulo de um vetor selecionado aleatoriamente faça um ângulo entre θ e $\theta+d\theta$ é dada pela função:

$$P(\theta) = \eta e^{k \cos \theta} d\theta \quad (2)$$

Sendo:

k : Fator de dispersão de Fisher.

A função densidade de probabilidade é dada pela equação:

$$f(\theta) = \frac{k \sin \theta e^{k \cos \theta}}{e^k - e^{-k}} \quad (3)$$

Para valores de $k > 5$, o termo e^{-k} se torna muito pequeno e pode ser ignorado. Considerando os limites de integração ($\theta_1 = 0$ e $\theta_2 = \theta$), a função de distribuição acumulada pode ser escrita como:

$$P(\theta) \approx 1 - e^{k(\cos \theta - 1)} \quad (4)$$

Espaçamento:

Espaçamento é a distância perpendicular entre duas descontinuidades adjacentes. Estudos desenvolvidos por Priest e Hudson (1976) permitiram inferir que o espaçamento total de descontinuidades em maciços rochosos sedimentares pode ser modelado através de uma distribuição exponencial negativa de probabilidades. Com base nas constatações do complexo processo de formação dos maciços rochosos é razoável assumir que o ponto de interseção de uma linha de amostragem com as descontinuidades do maciço rochoso tende a ser aleatório e se o ponto de interseção das descontinuidades com uma linha de amostragem não tem influência na locação de outros pontos de interseção, essas podem ser modeladas através de um processo de Poisson unidimensional. Se a frequência linear de ocorrência da descontinuidade tem parâmetro λ , a probabilidade de se ter k intersecções ao longo de um intervalo ψ , selecionado aleatoriamente, é dada pela equação:

$$P(k, \psi) = \frac{e^{-\lambda \psi} (\lambda \psi)^k}{k!} \quad (5)$$

Considerando o espaçamento médio total de uma descontinuidade, X_t , a probabilidade de que, selecionado um intervalo aleatório de amostragem, o espaçamento da descontinuidade seja maior que um dado valor ψ , é equivalente a probabilidade de se ter zero intersecções nesse mesmo intervalo. E a probabilidade de que selecionado o mesmo intervalo, considerando uma frequência linear de ocorrência, λ , o espaçamento total seja menor ou igual a ψ , é dada pela equação:

$$P(X_t \leq \psi) = 1 - e^{-\lambda \psi} \quad (6)$$

A função de densidade de probabilidade é dada pela primeira derivada da $F(\psi)$ em relação a λ .

$$f(\psi) = \lambda e^{-\lambda \psi} \quad (7)$$

Estes resultados mostram que, se a ocorrência da interseção das descontinuidades é aleatória, a função de densidade de probabilidade do espaçamento total é uma função exponencial negativa com média dada pelo inverso da frequência linear (λ).

Comprimento do traço

O comprimento do traço de uma descontinuidade é um importante fator para descrição do tamanho da descontinuidade e sua persistência. Estudos realizados por Napa (2015), mostraram que o comprimento do traço segue distribuições exponencial ou lognormal.

Rugosidade

A rugosidade é caracterizada pela medida das irregularidades da superfície da descontinuidade em relação ao plano médio das descontinuidades. A rugosidade possui um importante papel na resistência ao cisalhamento, especialmente em descontinuidades não preenchidas. Barton e Choubey (1976) desenvolveram um critério de resistência ao cisalhamento de descontinuidades no qual a rugosidade de uma descontinuidade é traduzida, em termos numéricos, pelo parâmetro *JRC* (*Joint Roughness Coefficient*).

Resistência das paredes

Resistência das paredes refere-se à compressão simples das paredes adjacentes de uma descontinuidade Lins *et al.*, (2011). A resistência das paredes pode ser determinada pela realização de ensaios com esclerômetro de Schmidt ou testes manuais, conforme sugestão da ISRM (1978). Ensaios esclerométricos realizados em paredes de descontinuidades mapeadas no túnel Monte Seco linha 1 por Futai *et al.* (2013) permitiram determinar o *Rebound Number* e, através da correlação

proposta por Miller (1965), Soares *et al.* (2014) determinaram a distribuição estatística da resistência à compressão simples das paredes de descontinuidades (*Joint Compressive Strength, JCS*), encontrando um bom ajuste entre os dados e a distribuição normal para três famílias de descontinuidades.

3 SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO

Segundo Rubinstein (1981) *apud* Beck (2012) uma simulação é uma técnica numérica para realizar experimentos em computador, baseada em modelos lógicos e matemáticos. A simulação de Monte Carlo envolve a amostragem aleatória de um conjunto de variáveis do problema em análise para substituição em uma equação de estado limite, $G(x)$, através da qual é “checada” a ocorrência ou não de um evento indesejável. A probabilidade de falha é calculada avaliando-se a função $G(x)$ para N repetições do processo de amostragem, (Melchers, 1999).

A determinação da probabilidade de falha envolve o cálculo de uma integral sobre o domínio de falha da função conjunta de densidade de probabilidade $f_x(x)$ (Beck, 2012).

$$P_f = \int_{D_f} f_x(x) dx \quad (8)$$

Utilizando-se uma função indicadora, pode-se reescrever a equação como:

A probabilidade de falha pode ser estimada com base em um número finito de amostras n_{si} :

$$P_f \approx \frac{1}{n_{si}} \sum_{j=1}^{n_{si}} I[x_i] = \frac{n_f}{n_{si}} \quad (9)$$

Sendo: n_f o número de pontos no domínio de falha e n_{si} o número de simulações.

4 TÚNEL MONTE SECO LINHA 1

Construído na década de 1940, entre as cidades de Ibiracú e João Neiva no Espírito Santo, o túnel Monte Seco Linha 1 pertence ao conjunto

de 44 túneis que compõe a estrada de Ferro Vitória Minas da companhia Vale. Trata-se de um túnel ferroviário, em seção arco retângulo, escavado em rochas do Complexo Paraíba do Sul composto por, predominantemente, paragneisses, micaxistos, quartzitos e anfibolitos (Leite *et al.*, 2004). A Figura 1 apresenta uma seção geométrica do túnel.

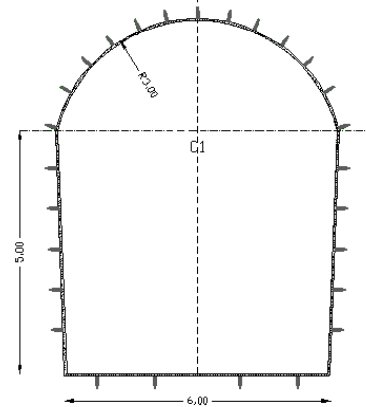


Figura 1– Geometria do túnel, Modificado de Soares (2016).

Através de mapeamentos de campo, foi possível identificar três famílias de descontinuidades principais, (S_n) relacionada à foliação, F_1 e F_2 , ambas famílias de fraturas. O estereograma da Figura apresenta as direções médias e as dispersões de cada uma delas.

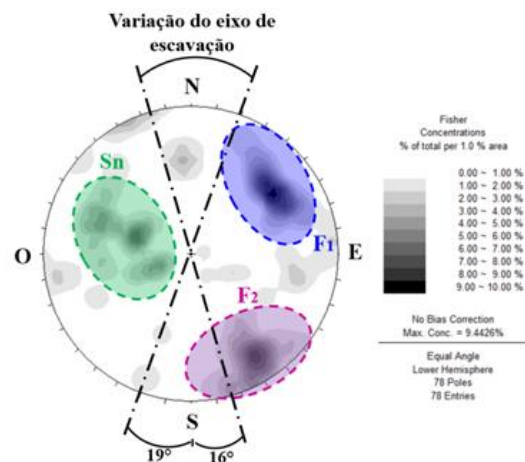


Figura 2 – Principais famílias de descontinuidades e a orientação do túnel Monte seco Linha 1- Modificado de Cacciari, (2014).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Através de mapeamento de campos realizados por Futai *et al.*, (2013) Soares *et al.*, (2014) e Soares (2016) caracterizaram as distribuições estatísticas de cada uma das propriedades do

maciço rochoso. Através do teste K-S Soares *et al.*, (2014) determinaram a função densidade de probabilidade para a direção das descontinuidades mapeadas tendo-se encontrado as seguintes características.

Tabela 1 – Distribuição estatística da direção das três famílias de descontinuidades

Família	Distribuição	μ		σ^2	
		Dip °	D.D°	Dip °	D D°
Sn		46,2	110	11,7	13,1
F ₁	Normal	69,6	226,3	5,5	17,8
F ₂		77,6	327,3	9,4	12,2

O comprimento do traço das descontinuidades foi avaliado através do teste χ^2 realizado nas famílias de descontinuidades F₁ e F₂. Neste estudo Soares (2016) conclui que o comprimento do traço poderia ser modelado por uma distribuição exponencial negativa de probabilidades encontrando parâmetros $\lambda_1 = 1,02$ e $\lambda_2 = 0,60$ para as famílias F₁ e F₂ respectivamente. A Figura 3 e a Figura 4 apresentam os histogramas obtidos para cada uma das famílias de descontinuidades.

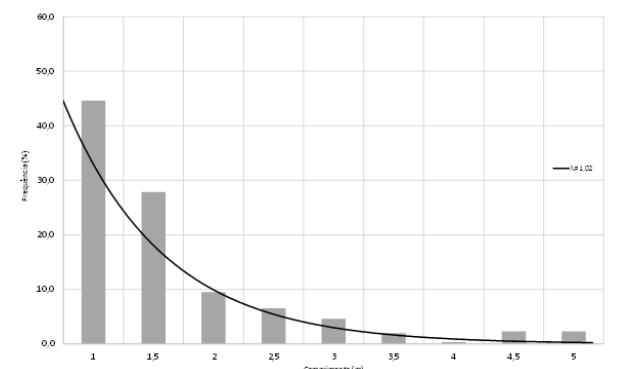


Figura 3– Distribuição estatística do comprimento do traço da família F₁.

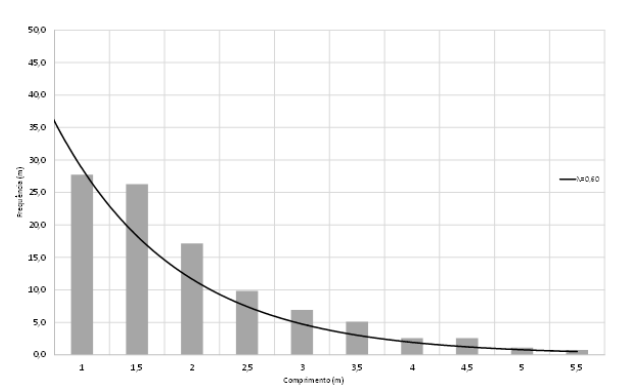


Figura 4– Distribuição estatística do comprimento do traço da família F₂.

O coeficiente de rugosidade das paredes das descontinuidades (*JRC*) foi assumido seguir uma distribuição normal com parâmetros conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Distribuição estatística do *JRC* para as três famílias de descontinuidades

Família	Distribuição	μ	σ^2	x_i
Sn		5	1,0	$X \sim N(5,1)$
F ₁	Normal	9	1,8	$X \sim N(9,1,8)$
F ₂		9	1,8	$X \sim N(9,1,8)$

A resistência das paredes das descontinuidades (*JCS*) foi obtida através de ensaios esclerométricos realizados por Ito (2013) e por meio do teste K-S foi determinada a distribuição estatística dos valores para cada uma das famílias mapeadas.

Tabela 3 – Distribuição estatística de *JCS* (MPa) para as três famílias de descontinuidades

Família	Distribuição	μ	σ^2	x_i
Sn		63	17	$X \sim N(63,17)$
F ₁	Normal	60	17	$X \sim N(60,17)$
F ₂		59	17	$X \sim N(59,17)$

O ângulo de atrito residual foi assumido ter uma distribuição normal com parâmetros conforme resumo da Tabela 4.

Tabela 4 – Distribuição estatística do ângulo de atrito residual para as três famílias de descontinuidades

Família	Distribuição	μ	σ^2	x_i
Sn	Normal	24	5	$X \sim N(24,5)$
F ₁		23	5	$X \sim N(23,5)$
F ₂		23	7,5	$X \sim N(23,7,5)$

Caracterizadas as variáveis aleatórias foram realizadas simulações de Monte Carlo com amostragem simples e por Hipercubo Latino (*LHS*), considerando, inicialmente, a persistência infinita das descontinuidades. Nesta simulação foi testado o melhor modo de amostragem das variáveis aleatórias, conforme Figura seguinte.

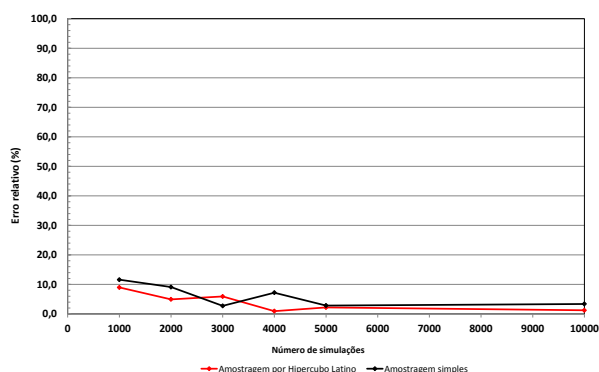


Figura 5—Erro relativo da probabilidade de falha global em função do número de amostras e da técnica de amostragem.

Foi comparado o erro relativo da amostragem simples e da amostragem *LHS*, verificando que a segunda apresentou menores erros relativos do cálculo da probabilidade de falha, com a mesma ficando constante a partir de 4000 amostras, devido a característica intrínseca da amostragem mais esparsa do domínio das variáveis aleatórias, sendo então utilizado para a determinação da p_f .

A simulação de Monte Carlo foi então realizada com 100000 amostras. A seção do túnel foi dividida em três regiões, lateral direita, esquerda e teto, obtendo-se, para cada uma delas, o valor da p_f , bem como as características geométricas dos blocos potencialmente instáveis, conforme Figuras seguintes.

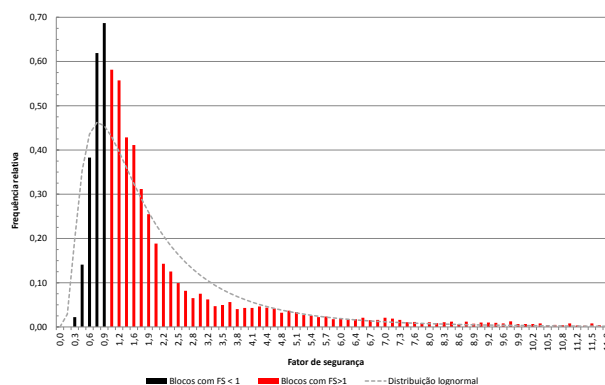


Figura 6—Histograma do FS para blocos formados na lateral direita do túnel.

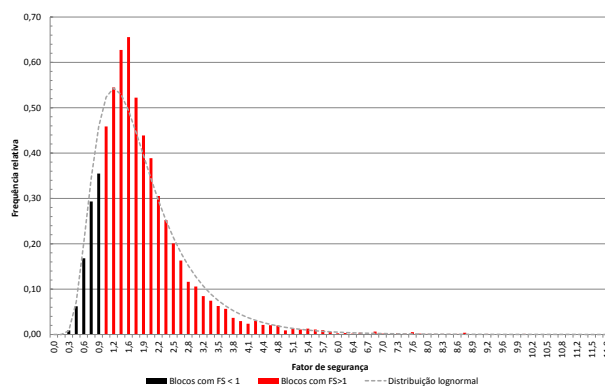


Figura 7—Histograma do FS para blocos formados na lateral esquerda do túnel.

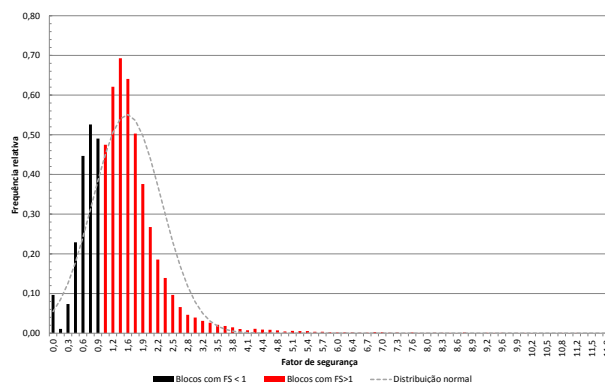


Figura 8—Histograma do FS para blocos formados no teto do túnel.

Foi constatado que a probabilidade de falha é da ordem de 0,33; 0,25 e 0,21 para as regiões da lateral direita, esquerda e teto, respectivamente, todas elas melhor ajustadas por uma distribuição lognormal. Verificou-se que na seção do túnel o valor da probabilidade de falha é elevado, devido, em boa parte, não ter instalado um sistema de revestimento no túnel.

Além do histograma de FS, foram determinados os histogramas das alturas dos blocos formados ao redor da seção do túnel, conforme Figuras seguintes.

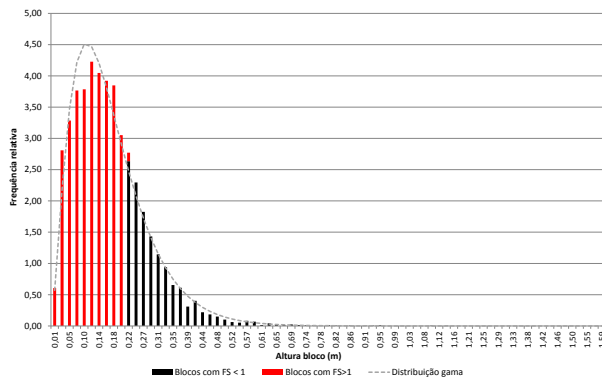


Figura 9–Histograma da altura dos blocos formados na lateral direita do túnel

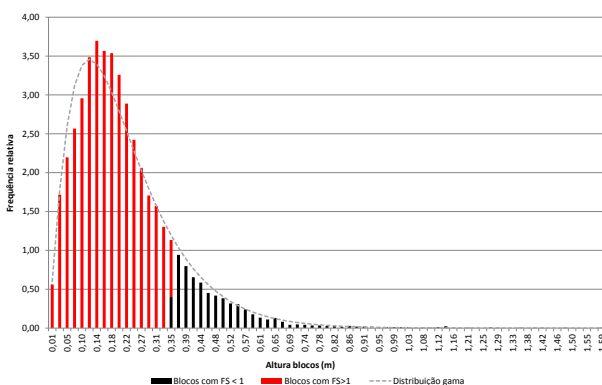


Figura 10–Histograma da altura dos blocos formados na lateral esquerda do túnel.

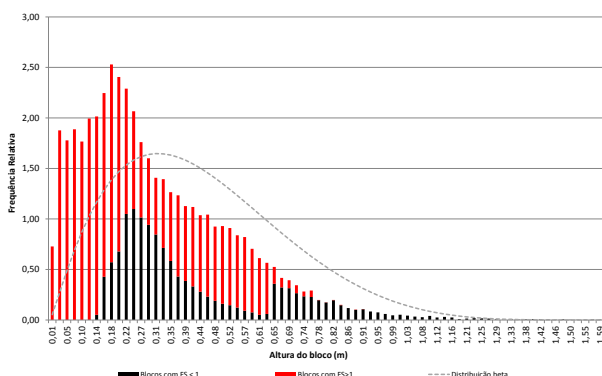


Figura 11–Histograma da altura dos blocos formados no teto do túnel.

Verificou-se que os blocos prováveis de queda têm alturas superiores a 0,20 m; 0,35 m e 0,14 m sendo ajustadas por distribuição beta e gama na lateral direita, esquerda e teto, respectivamente.

Verificou-se que a forma da distribuição das alturas dos blocos instáveis ($FS \leq 1$, curva em preto) possui uma distribuição assimétrica próxima a uma distribuição exponencial negativa para os blocos formados na região lateral direita e esquerda.

Foi realizada a normalização da altura dos blocos prováveis de falha em relação à dimensão da escavação (h_{falha}/B) tendo-se constatado que em todos os casos, os blocos prováveis de falha possuem relação $h_{falha}/B \leq 1,0$ (considerando a persistência infinita) e $h_{falha}/B \leq 0,20$ (considerando a persistência).

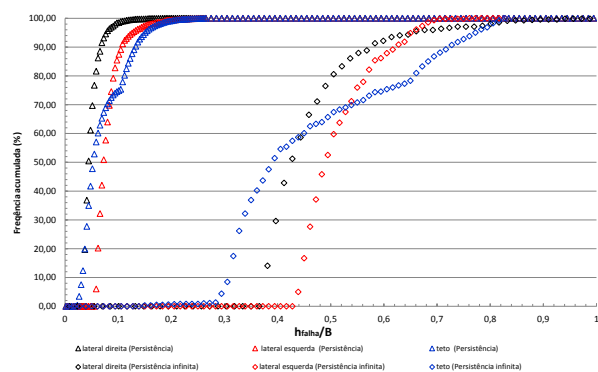


Figura 12–Frequência acumulada das alturas normalizadas dos blocos instáveis.

Esta constatação é importante quando do dimensionamento do comprimento dos chumbadores, pois a partir dela podem ser realizadas otimização dos comprimentos dos mesmos por meio da expressão:

$$L_{chumbadores} = L_{ancorado} + kB \quad (10)$$

Com o valor do parâmetro k, determinado por meio da normalização da altura dos blocos instáveis, no caso $k=0,2$ (persistência calculada) e $k=1,0$ (persistência infinita), conforme Figura anterior. Comparações com a estimativa dos comprimentos dos chumbadores, obtidos por meio das classificações geomecânicas, podem ser realizadas e otimizações podem ser elaboradas.

7 CONCLUSÕES

O trabalho apresentou as características das variáveis aleatórias das propriedades dos maciços rochosos apresentando as distribuições estatísticas mais adequadas a cada uma destas, por meio de testes de aderência. Com o uso da técnica de simulação de Monte Carlo foi possível determinar a probabilidade de queda de um bloco de rocha na seção do túnel tendo-se encontrado valores altos de p_f devido a alta variabilidade das propriedades de resistência e orientação das descontinuidades. Verificou-se uma importante relação entre os blocos prováveis de falha e a dimensão das escavações tendo-se constatado que em todos os casos a relação $h_{falha}/B \leq 1,0$.

REFERÊNCIAS

- Barton, N. (1976). The shear strength of rock joints. *International J. Rock Mechanics Min. Sci. & Geomechanics*. Abstract., 19: 255-279.
- Barton, N. (1998). Quantitative description of rock masses for design of NMT reinforcement (Special Lecture 1)., *Proc. Of the international Conference on Hydropower Development in Himalayas*. Shimla, India, p. 22.
- Beck, A. T. (2012) *Confiabilidade Estrutural*. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 228 p. (Notas de Aula).
- Bieniawski, Z.T (1989). *Engineering rock mass classifications: A complete manual for engineers and geologists in mining, civil and petroleum engineering*: Wiley, 1989. 251 p.1989.
- Cacciari, P.P (2014). *Estudo de um túnel em maciço rochoso fraturado por investigação geológico-geotécnica e análises pelo método dos elementos distintos*. 177 p. Dissertação (Mestre em Ciências). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2014.
- Fisher, R. A. (1953). *Dispersion on a Sphere*. Proceedings of the Royal Society of London. A217, 295-305p. 1953
- Futai, M., Suzuki, S., Ito, W, e Cacciari, P. (2013) *Relatório Semestral-Projeto TUNELCON*. São Paulo/SP.
- Goodman, R. and Shi, G. (1985). *Block theory and its application to rock engineering*. New Jersey.: Prentice Hall. 338p.
- Ito, W. (2013). *Caracterização Geológico-Geotécnica Aplicada na Setorização dos Trechos Críticos dos Túneis Monte Seco Linha 1 e Linha 2 da Estrada de Ferro Vitória Minas*. Exame de qualificação de Mestrado-Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 111p.
- Leite, C. e et al. (2004). *Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo. Programa Sistema de Informações Geográficas*. Brasília: CPRM.
- Lu, Q., Chan, C.L., Low, B.K. *System Reliability Assessment for a Rock Tunnel with Multiple Failure Modes* International Journal of Rock Mechanics and Rock Engineering. v.46. p-p821-833. 2013.
- Melchers, R. E. (1999) *Structural Reliability Analysis and Prediction*. 2nd edition. John Wiley & Sons. 437p.
- Miller, R. P. (1965). *Engineering Classification and Index Properties for Intact Rock*. Thesis (Phd in Civil Engineering) – University of Illinois, 332p. 1965.
- Low, B.K. e Einstein, H.H (2013). *Reliability analysis of roof wedges and rockbolt forces in tunnels*. Tunneling and Underground Space Technology, 38, 1-10. 2013.
- Lu, Q., Chan, C.L., Low, B.K. (2013) *System Reliability Assessment for a Rock Tunnel with Multiple Failure Modes* International Journal of Rock Mechanics and Rock Engineering. v.46. p-p821-833. 2013.
- Maia, J. A. C. (2013). *Métodos probabilísticos aplicados à estabilidade de taludes e cavidade em rocha*. 228 p. Dissertação (Mestre em Geotecnia). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, 2003.
- Napa-García, G.F.; Beck, A.T.; Celestino, T.B.(2014) *Reliability of face stability in Shallow Tunnel using the Caquot's lower bound solution*. In: World Tunnel Congress WTC 2014. 2014. Foz de Iguaçu. Foz de Iguaçu, RJ, Brazil: ITA-AITES, 2014.
- Napa-García, G.F (2015). *Análise de Risco de Obras Subterrâneas em Maciços Rochosos Fraturados Geral*. 214 p. Tese (Doutor em Geotecnia). Escola de Engenharia de São Carlos – Departamento de Geotecnia, Universidade de São Paulo, 2015.
- Priest, S.D (1993). *Discontinuity analysis for rock engineering*. 1st ed: Chapman & Hall, 1993. 473 p. 1993.
- Priest, S. D.; Hudson J. A (1976). *Discontinuity spacing in Rock*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. V. 13, pp. 135-148, 1976.
- Soares, R.M.; Ribeiro, D.B.; Futai, M.M.; Negro Jr. A. (2014). *Reliability analysis of block fall in unsupported hard rock tunnels*. In: World Tunnel Congress WTC2014. 2014. Foz de Iguaçu. Foz de Iguaçu, RJ, Brazil: ITA-AITES, 2014
- Soares, R.M. (2016). *Uso de técnicas de confiabilidade aplicada a estabilidade de túneis em rocha*. Dissertação de Mestrado-Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 158p