



35^o
Bonito - MS

ANAIS do 35^o Congresso Brasileiro de Espeleologia
19 - 22 de julho de 2019 - ISSN 2178-2113 (online)



O artigo a seguir é parte integrando dos Anais do 35^o Congresso Brasileiro de Espeleologia disponível gratuitamente em www.cavernas.org.br.

Sugerimos a seguinte citação para este artigo:

LACERDA, S.G. et al. Caracterização geomecânica do maciço rochoso da Gruta do Pião - Parque Estadual do Ibitipoca, Minas Gerais. In: ZAMPAULO, R. A. (org.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 35, 2019. Bonito. *Anais...* Campinas: SBE, 2019. p.244-252. Disponível em: http://www.cavernas.org.br/anais35cbe/35cbe_244-252.pdf. Acesso em: *data do acesso*.

Esta é uma publicação da Sociedade Brasileira de Espeleologia.
Consulte outras obras disponíveis em www.cavernas.org.br

CARACTERIZAÇÃO GEOMECÂNICA DO MACIÇO ROCHOSO DA GRUTA DO PIÃO - PARQUE ESTADUAL DO IBITIPOCA, MINAS GERAIS

*GEOMECHANICAL CHARACTERIZATION OF ROCK MASS OF PIÃO CAVE -
PARQUE ESTADUAL DO IBITIPOCA, STATE OF MINAS GERAIS*

Syro Gustavo LACERDA; Guilherme Passos RIBAS; Léo Henrique do Carmo BARBOSA; Gabriel Lourenço Carvalho de OLIVEIRA

Universidade Federal de Ouro Preto
Sociedade Excursionista Espeleológica

Contatos: syrolacerda@yahoo.com.br; guilhermeribas.op@gmail.com; gabriellco@yahoo.com.br; leohenrique.barbosa@gmail.com.

Resumo

A Gruta do Pião está inserida no Parque Estadual do Ibitipoca (PEIB), localizado no sudeste do estado de Minas Gerais. O PEIB é o parque estadual mais visitado do estado e contou com mais de 80.000 turistas no ano de 2018. A intensa visitação em Unidades de Conservação, sobretudo em ambientes naturalmente frágeis, como as cavidades naturais subterrâneas, pode provocar impactos negativos e quebrar o elo da biodiversidade de seu entorno. Além disso, as condições de estabilidade geotécnica das cavidades naturais abertas à visitação devem ser rotineiramente realizadas, a fim de assegurar a segurança dos visitantes. Neste sentido, foi realizada a caracterização geomecânica do maciço rochoso da Gruta do Pião a fim de investigar pontos de riscos geotécnicos, que tragam insegurança aos visitantes. Foram utilizadas metodologias conhecidas e adaptadas ao trabalho. Apesar do baixo grau de qualidade do maciço, segundo as classificações geomecânicas, foi evidenciado um único ponto de situação bastante crítica quanto à estabilidade, apresentando intenso fraturamento, formação de cunhas e blocos nas paredes e teto. Neste trecho, do ponto de vista geotécnico, as visitas não deveriam ser permitidas e, além disso, deve ser responsabilidade do PEIB informar sobre os riscos de segurança do visitante nestes ambientes, sugerindo ainda o uso de capacetes e lanternas.

Palavras-Chave: caracterização geomecânica; Gruta do Pião; Parque Estadual do Ibitipoca; espeleoturismo.

Abstract

Pião Cavern belongs to Ibitipoca Park (PEIB), settled on the South-East of the Minas Gerais State (Brazil). PEIB is the most visited Minas Gerais Park; it reached 80.000 visits on 2018. Overcrowding is a hazard for preservation units, specially in naturally fragile environments, such as natural caverns; it might cause negative impacts even unbalancing the biodiversity. Furthermore, geotechnical stability must be constantly guaranteed for the visitors safety; technical inspection must be correctly scheduled. With this aim, the geomechanical characterisation of the Pião cavern rock massif was developed, looking for possible geotechnically unstable areas; common techniques were applied. Despite the massif overall low geotechnical strength, according to the geomechanical systems applied, only one high risk point was found, with high degree of fracturing, forming wedges and other unstable blocks on walls and roof. Because of this conclusion, visitations should be no longer allowed in this zone. Nevertheless, it is the duty of the PEIB administration to inform the visitors about this risk, as well as suggesting the use of helmets and torches.

Keywords: *geomechanical characterization; Pião Cave; Parque Estadual do Ibitipoca; speleotourism.*

1. INTRODUÇÃO

As Unidades de Conservação são importantes instrumentos para proteção de patrimônio natural, garantindo a conservação da biodiversidade e o uso público de forma sustentável. A Lei Federal no 9.985, de 18 de junho de 2000 que instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC) estabelece as características e

propósitos das Unidades de Conservação como “espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial

túneis e posteriormente adaptadas à escavações mineiras. Ao contrário destas escavações, que são executadas em tempo muito curto, a formação das cavernas é um processo natural e extremamente lento que pode levar milhares de anos, o que, ao longo do tempo, provoca maior estabilidade.

A Gruta do Pião, localizada no PEIB, é uma cavidade linear de aproximadamente 150m de desenvolvimento orientado grosseiramente para sul em rocha quartzítica. Apresenta condutos com largura média de 2 a 3m e altura de 1.5 a 2m e, ao longo destes condutos, dois salões com largura média de 7 a 9m e altura de 10m. A drenagem percorre toda a cavidade e é escassa durante períodos de estiagem.

A gruta está inserida nas atividades do Circuito do Pião, que leva ao pico de mesmo nome, e tem fácil acesso através de trilha bem marcada. Por isso, recebe diversos visitantes que muitas vezes a degradam com pichações e lixo. Ultimamente, foi registrado através de visitantes e monitores ambientais do PEIB a ocorrência de possíveis rupturas de rocha, deslizamentos de blocos e deslocamentos de lajes no interior da Gruta do Pião, que compromete a segurança da visita.

Este trabalho propõe caracterizar e classificar quanto a qualidade o maciço rochoso da Gruta do Pião, além investigar e averiguar possíveis áreas de fragilidade geotécnica no interior da cavidade que comprometam a segurança dos seus visitantes.

2. METODOLOGIA

A caracterização geomecânica aplicada a ambientes subterrâneos trata-se da descrição do comportamento mecânico do maciço rochoso que, do ponto de vista geotécnico, pode ser dividido em rocha intacta e as descontinuidades, que são superfícies de fraqueza para o deslizamento e a ruptura da rocha. Desta forma, é necessário estudar separadamente estes componentes, avaliar seus parâmetros geotécnicos e assim caracterizar e classificar o maciço rochoso quanto a sua qualidade e sua estabilidade.

A caracterização da rocha intacta consiste na descrição litológica (composição, cor, textura e tamanho dos grãos) aliada ao estudo do estado de alteração e coerência, decorrido da ação dos processos intempéricos. O estudo de estado de alteração da rocha é feito a partir da análise tátil e visual das condições de friabilidade, brilho e cor dos minerais e da rocha. A Sociedade Internacional de Mecânica de Rochas (1981) recomenda a

classificação de acordo com a Tabela 1.

A coerência da rocha é estudada a partir de ensaios in situ utilizando o martelo de geólogo e um canivete ou estilete, e consiste em testar a resistência deste material submetido a golpes ou riscos com a lâmina de aço. Os graus de coerência das rochas, definido acordo com os critérios utilizados, são apresentados na Tabela 2 (GUIDICINI et al. 1972).

Tabela 1: Classificação do grau de alteração das rochas (ISRM 1981).

Termo	Classe
Rocha Sã	W1
Rocha pouco alterada	W2
Rocha moderadamente alterada	W3
Rocha completamente alterada	W4
Solo Residual	W5

Tabela 2: Classificação do grau de coerência (GUIDICINI et al. 1972).

Classe	Denominação	Características da rocha
C1	Rocha coerente	Quebra com dificuldade ao golpe do martelo produzindo fragmentos de bordas cortantes. Superfície dificilmente riscável por lâmina de aço. Somente escavável a fogo.
C2	Rocha mediantemente coerente	Quebra com dificuldade ao golpe do martelo. Superfície riscável com lâmina de aço. Escavável à fogo.
C3	Rocha pouco coerente	Quebra com facilidade ao golpe do martelo produzindo fragmentos que podem ser partidos manualmente. Superfícies facilmente riscáveis com lâmina de aço. Escarificável.
C4	Rocha incoerente	Quebra com pressão dos dedos desagregando-se. Pode ser cortada com lâmina de aço. Friável e escarificável com lâmina.

Tabela 3: Estimativa da resistência a compressão uniaxial a partir de testes de campo utilizando o martelo de geólogo (ISRM 1981).

Grau	Classe	Resistência a Compressão uniaxial (MPa)	Descrição em campo
R6	Extremamente resistente	>250	Material rochoso é somente lascado sob repetidos golpes do martelo
R5	Muito resistente	100-250	Requer várias batidas de martelo para quebrar a rocha intacta gerando fragmentos com bordas cortantes; não é riscável pelo canivete.
R4	Rocha resistente	50-100	Espécies quebradas por alguns golpes de martelo, superfícies dificilmente riscáveis pelo canivete. Escavável a fogo.
R3	Rocha mediamente resistente	25-50	Golpe firme com o martelo de geólogo quebra a rocha; o canivete apenas risca a superfície. Escavável a fogo.
R2	Rocha branda	5-25	Quebra-se com um único golpe de martelo; as bordas dos fragmentos podem ser quebradas pela pressão dos dedos. O canivete corta o material. Escavação mecanizada.
R1	Rocha muito branda	1-5	Esfarelamento sobre um golpe firme com o martelo de geólogo; pode ser cortado com canivete. Deslocamentos ao longo da foliação sob pressão dos dedos. Escavação mecanizada.

Além disso, a resistência da rocha é um parâmetro importante para a classificação geomecânica do maciço rochoso. Para isso, podem ser feitos ensaios em laboratório, como a resistência a compressão puntiforme, ou in situ, através de testes de campo utilizando o Martelo de Schimidt ou simplesmente o martelo de geólogo (BRANDI et al. 2015; NOCE 2016; LACERDA 2017, DUTRA

2017). Os testes de campo que utilizam o martelo de geólogo, estimam um intervalo de resistência da rocha de acordo com a ISRM (1981) na Tabela 3.

Para a caracterização das descontinuidades, devem ser analisados espaçamento, abertura, persistência, resistência das paredes, rugosidade e condições de água (Figura 2). Primeiramente, estas superfícies devem ser agrupadas de acordo com sua atitude (orientação e mergulho), denominadas famílias de descontinuidades e, a partir, disso podem ser avaliados os parâmetros acima citados. Neste trabalho o reconhecimento das famílias de descontinuidades foi realizado com o auxílio do programa DIPS 3.0, desenvolvido pela Rocscience.

A persistência é definida como comprimento do traço que a descontinuidade corta o maciço rochoso, enquanto o espaçamento é a distância entre duas descontinuidades da mesma família. A abertura é definida como a distância entre as paredes de uma descontinuidade podendo ser preenchida ou não por material duro ou mole. Enquanto a rugosidade é estimada através das ondulações e polimento destas superfícies, podendo ser escalonada, ondulada ou plana, e em uma segunda análise rugosa, lisa ou polida (ISRM 1981).

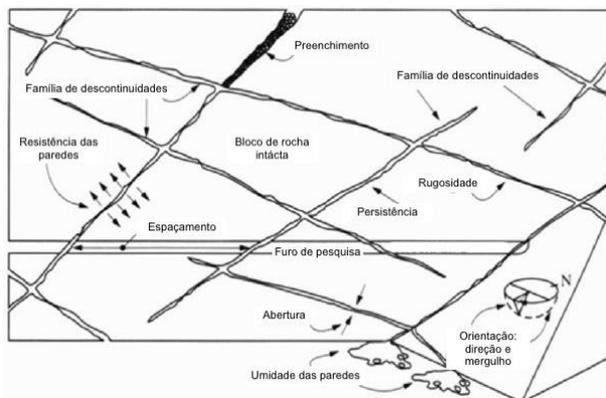


Figura 2: Bloco diagrama apresenta os principais parâmetros geomecânicos avaliados na caracterização do maciço rochoso. Modificado de Hudson (1989).

As classificações geomecânicas foram desenvolvidas com a finalidade de identificar os principais parâmetros que influenciam no comportamento do maciço rochoso, através das características da rocha intacta e das descontinuidades, e dividir o maciço em zonas com comportamentos similares.

Apesar destas classificações terem sido desenvolvidas para escavações antrópicas, o método pode ser adaptado às cavidades naturais, considerando ainda uma escala de tempo muito maior para sua formação e, conseqüentemente, uma

maior estabilidade relativa quando comparadas a escavações de mineração e túneis (VALENTIM 2016). Dentro das classificações geomecânicas existentes na literatura, são mais conhecidas as classificações RMR (Rock Massa Rating), desenvolvido e revisado por Bieniawski (1989), e o Q (Rock Tunneling Quality Index), desenvolvido por Barton et al. (1974).

O RMR avalia seis parâmetros geológico-geotécnicos como a resistência à compressão uniaxial, o RQD (Rock Quality Designation Index), o espaçamento e as condições das descontinuidades (rugosidade, abertura, persistência e preenchimento), as condições da presença de água e a orientação das descontinuidades em relação à escavação ou conduto (BIENIAWSKI 1989).

O RDQ, desenvolvido por Deere (1968), é definido pela porcentagem de pedaços intactos com mais de 10 cm, em furos de sondagem com no mínimo 54,7 mm de diâmetro. Posteriormente Palmström (1982) sugeriu a estimativa deste parâmetro a partir do índice de contador volumétrico (J_v), definido pelo número de descontinuidades por unidade de comprimento, ou seja, pelo inverso do espaçamento (S_i). Sendo assim:

$$RQD = 115 - 3,3 \times J_v$$

$$J_v = \sum(1/S_i)$$

Estes parâmetros são ponderados a partir de pesos atribuídos de acordo com a importância no comportamento mecânico e, quando somados, é obtido o valor do índice RMR, que pode variar de 0 a 100.

De acordo com este índice, é possível classificar o maciço rochoso quanto a sua qualidade geomecânica através da Tabela 4.

Tabela 4: Classificação Geomecânica RMR (BIENIAWSKI 1989).

RMR	81 a 100	61 a 80	41 a 60	21 a 40	< 21
Clas.	I	II	III	IV	V
Desc.	Rocha de muito boa qualidade	Rocha de boa qualidade	Rocha de qualidade razoável	Rocha de má qualidade	Rocha de muito má qualidade

O índice Q é calculado a partir de seis parâmetros: o RQD, o número de famílias de descontinuidades (J_n), o índice de rugosidade das famílias de descontinuidades mais desfavoráveis a estabilidade (J_r), o grau de alteração ou preenchimento da descontinuidade menos resistente (J_a), o fluxo de água (J_w) e o estado de tenho no

maciço (SRF). Com as notas atribuídas aos respectivos pesos sugeridos pelo autor, pode-se calcular o índice Q da seguinte maneira:

$$Q = (RQD/J_n) \times (J_r/J_a) \times (J_w/SRF)$$

A partir deste cálculo, é obtido um valor numérico que varia de 0,001 a 1000, em escala logarítmica, e o padrão geomecânico do maciço é estimado a partir da Tabela 5.

Este índice Q, segundo o autor, ainda pode ser correlacionado com a razão entre o Diâmetro Equivalente (D_e), maior vão do contido subterrâneo (largura ou altura), e o índice ESR, relacionado ao stress submetido no ambiente subterrâneo, neste caso igual a 1; estabelecendo assim regiões em são necessários ou não suportes para estabilidade. Neste trabalho estas regiões são denominadas Zonas Estáveis e Instáveis (Figura 3).

A partir destas metodologias descritas, foram feitos cinco pontos no interior da Gruta do Pião para a caracterização e classificação de seu maciço rochoso. Além disso, foi utilizado o gráfico de estabilidade (Figura 3) para verificar se os condutos se apresentavam em zonas estáveis ou instáveis. Ademais, para os pontos com maior suscetibilidade de ruptura de rocha, deslizamento ou deslocamento de blocos, foram feitas análise cinemáticas, considerando os parâmetros observados, e foi estimado o Fator de Segurança, sendo condições instáveis os valores menores que 1. Esta análise foi realizada com o auxílio do programa Unwedge 3.0, desenvolvido pela Rocscience.

Tabela 5: Padrão geomecânico do maciço rochoso segundo o índice Q (BARTON 1974).

Classe	Padrão Geomecânico	Q
I	Excelente	> 400
II	Ótimo	100-400
III	Muito bom	40-100
IV	Bom	10-40
V	Regular	4-10
VI	Ruim	0,1-1
VII	Muito ruim	0,01-0,1
VIII	Extremamente ruim	0,001-0,01
IX	Péssimo	< 0,001

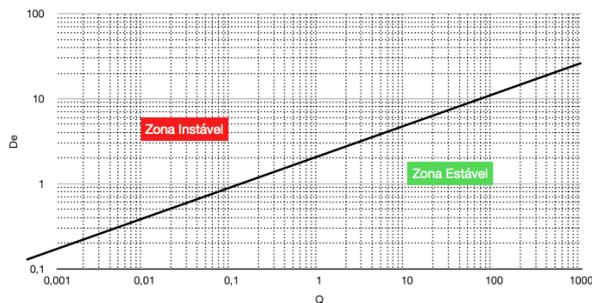


Figura 3: Gráfico de zoneamento de estabilidade que correlaciona o Diâmetro Equivalente (De) e o índice Q. Modificado de Barton et al. (1974).



Figura 4: Quartzito de grão grosso de coloração acinzentada (parte mais inferior) e alaranjada (parte superior) em P2.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Do ponto de vista geomecânico, a Gruta do Pião possui características bastante similares no que se diz respeito a rocha intacta, enquanto as famílias de discontinuidades, puderam ser observadas em diferentes padrões e combinações nos cinco pontos descritos.

A litologia pode ser descrita como quartzito de grão grosso, composto essencialmente por quartzo recristalizado com textura poligonal. Possui coloração acinzentada ou alaranjada, dependendo do grau de alteração desta rocha.

A rocha intacta pode ser caracterizada quanto ao grau de alteração, coerência e resistência. Nos dois primeiros pontos (P1 e P2), a rocha foi caracterizada como pouco alterada (W2), enquanto nos três demais pontos (P3, P4 e P5), mais ao fundo da cavidade, a rocha foi caracterizada como Moderadamente alterada (W3). O grau de coerência pode ser caracterizado como Pouco coerente (C3), uma vez que a rocha se quebra com facilidade ao golpe do martelo de geólogo. A Resistência a compressão uniaxial foi estimada através de testes de campo e pode ser caracterizada como Rocha

medianamente resistente (5-25MPa).

Quanto as famílias de discontinuidades, foram observados planos de foliação de baixo ângulo de mergulho (Sn) e quatro famílias de fraturas (F1, F2, F3 e F4), dois delas (F1 e F2) bastante verticalizadas e frequentemente observadas no teto de todos os condutos da cavidade. Estes planos, quando combinados com a orientação destes condutos, podem formar blocos fortemente susceptíveis ao desabamento. A Tabela 6 sumariza a atitude, medidas em trama, das famílias de discontinuidades, enquanto a Figura 5 e 6 ilustram a distribuição de pólos das orientações das famílias de discontinuidades tomadas em campo.

Tabela 6: Orientação das famílias de discontinuidades observadas na Gruta do Pião.

Família de discontinuidade	Atitude
Sn	357/04
F1	304/84
F2	001/79
F3	228/62
F4	107/60

Os planos de foliação são observados nas camadas de rocha sub-horizontais e levemente ondulados (ou dobrados), dificultando um pouco a medida de sua orientação. Pode-se dizer que esta foliação mergulha levemente para norte.

As famílias de discontinuidades têm características distintas quanto sua frequência, espaçamento, abertura e persistência. As famílias F1 e F2 são as mais frequentemente observadas de mais forte mergulho. As discontinuidades de F1 apresentam grande persistência (>10m) e espaçamento de 200 a 600 mm. Algumas vezes estas superfícies são encontradas com abertura maior que 5 mm, preenchidas ou não com material mole, são geralmente rugosas e moderadamente alteradas.

Apesar da orientação do desenvolvimento da cavidades (N-S) não coincidir com nenhuma família de discontinuidades, a família de discontinuidades F1 é a responsável pelos alargamentos dos condutos, principalmente no salão (de aproximadamente 7 m de largura e 10 m de altura) e no desenvolvimento do conduto do ponto P5, onde o fluxo de água apresenta-se mais intenso.

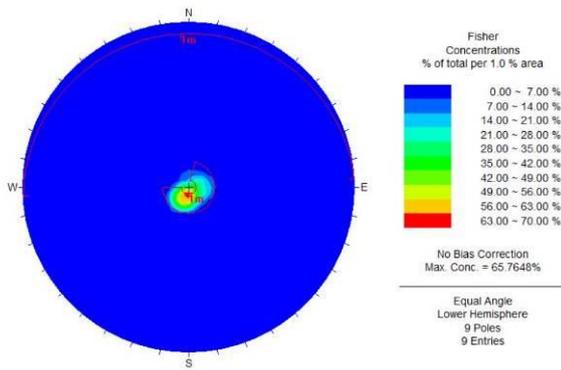


Figura 5: Concentração de pólos de atitudes da foliação (Sn). 1m é a representação do plano na projeção estereográfica de igual ângulo.

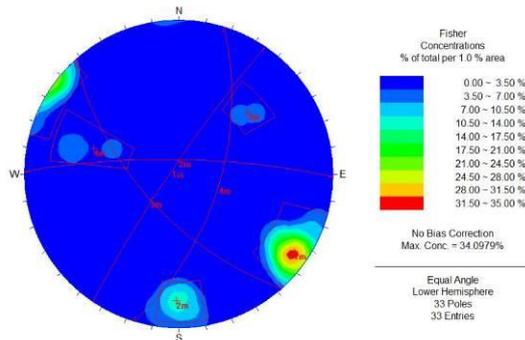


Figura 6: Concentração de pólos de atitudes das famílias de descontinuidades F1, F2, F3 e F4. Na figura 1m, 2m, 3m e 4m são respectivamente a representação dos planos na projeção estereográfica de igual ângulo.

Para a aplicação das classificações geomecânicas, foi calculado o valor estimado do RDQ conforme proposto com Palmström (1982), que variam de 15 (em P3) a 68 (em P1), e a resistência a compressão uniaxial foi estimada de 25 a 50 MPa, conforme os ensaios propostos pela ISRM (1989). As condições de percolação de água foram bastante variadas. Como a cavidade apresenta apenas uma entrada e a drenagem perene durante quase todo ano, os condutos mais inferiores são mais úmidos e apresentam por vezes gotejamento e escorrimentos. O SFR, diz respeito ao estado de tensão do maciço, foram consideradas zonas alteradas contendo argila ou rocha quimicamente alterada desintegrada (profundidade < 50m).

A Classificação RMR subdivide o maciço em duas classes (III - Razoável e IV - Pobre) (Figura 7). Os locais de pior qualidade P3 e P5 apresentam intensa presença de famílias de fraturas e fortes condições de água, respectivamente, o que reduz drasticamente sua nota na classificação.

Enquanto a classificação Q separa o maciço

em porções de três classes (VI- Ruim, VII - Muito ruim e VIII - Extremamente ruim) (Figura 7). O único ponto classificado como Ruim é o mais próximo da entrada e mostra melhores condições de estabilidade geotécnica, embora seja observada a presença de água nas paredes em períodos chuvosos. Os pontos classificados como Muito ruim são devido a intensa presença de fraturas e pela condição de água nos condutos mais interiores. Em P3, ponto no grande salão da gruta, o maciço foi classificado como Extremamente ruim e é o ponto de maior fragilidade geotécnica. Neste ponto foram observados diversos blocos formados no teto a sudoeste-oeste do salão, além de descontinuidades abertas e muito persistentes (chegando a cortar todo o salão).

A partir dos valores calculados para o índice Q aliados com as maiores dimensões do conduto onde foi feita esta classificação, foram gerados gráficos de estabilidade conforme proposto por Barton (1974). Desta forma, todos os pontos amostrados encontram-se na Zona Instável, ou seja, sujeita a rompimentos de rocha, rupturas e desabamento de blocos das paredes e do teto (Figura 8).

Considerando o fator temporal de formação, desenvolvimento e estabilidade ao longo deste tempo, os pontos podem ser considerados estáveis do ponto de vista geotécnico, com exceção do P3 (salão). Além do valor do índice Q ser pelo menos dez vezes menores que os valores dos demais pontos, a dimensão do salão e a presença de blocos “soltos” no teto fazem com que este local seja o de mais frágil estabilidade e mereça maior atenção.

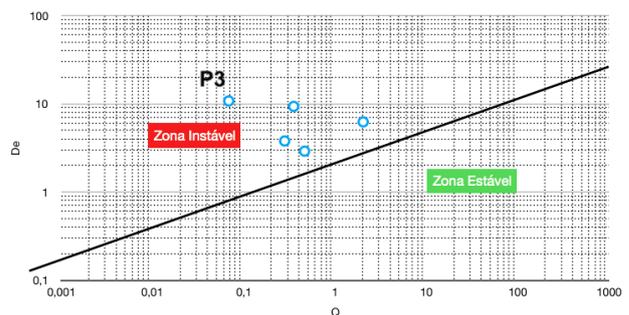


Figura 7: Gráfico de estabilidade geotécnica para os pontos amostrados. Em destaque os valores encontrados no P3, de menor valor do índice Q e maior diâmetro equivalente (De).

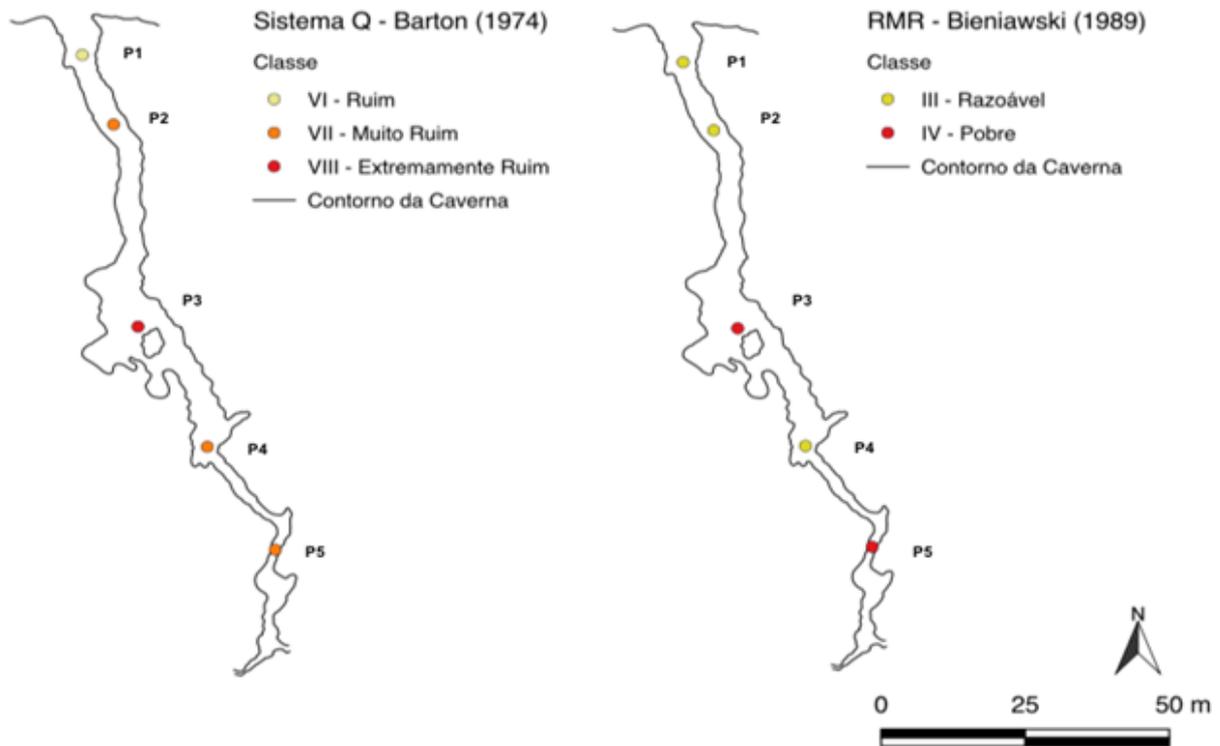


Figura 8: Classificação geomecânica Q e RMR segundo os pontos de amostragem na Gruta do Pião.

Para este ponto, foi analisada a cinemática dos blocos formados pela combinação das famílias de descontinuidades existentes, segundo o critério de resistência de Mohr-Coulomb, que leva em consideração, o ângulo de atrito (φ), a coesão (C) e a resistência a tração (T). Neste trabalho, estes parâmetros foram aderidos como $\varphi = 30^\circ$; $C = 1,4 \text{ ton/m}^2$ e $T = 0,5 \text{ ton/m}^2$ (valores amplamente utilizados na literatura para este tipo de litologia) (Figura 9).

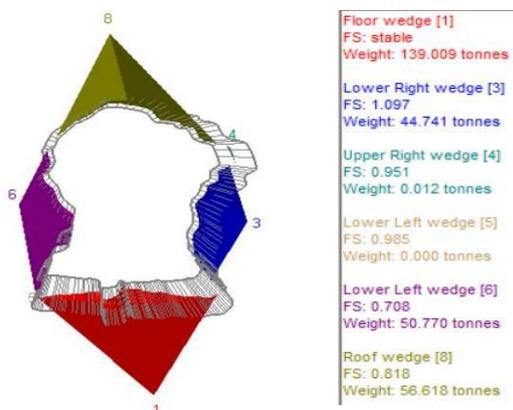


Figura 9: Análise cinemática para as cunhas formadas a partir das famílias de descontinuidades F1, F2 e F4 em P3.

As famílias de fraturas F1, F2 e F4, combinadas, formam cunhas nas laterais e tetos do

salão e o Fator de Segurança para estas cunhas pouco maior ou menor que 1, o que indica uma situação de instabilidade. Logo, esta área, além de ser classificada com baixíssima qualidade geomecânica é percebida a formação de blocos instáveis e comprometem a segurança dos visitantes que passam neste local.

4. CONCLUSÕES

O maciço rochoso da Gruta do Pião caracterizado a partir de parâmetros geomecânicos indicam, segundo as classificações geomecânicas propostas por Bieniawski (1989) e Barton et al. (1974), um material de baixa qualidade, com classificações que variam de Pobre a Razoável, na primeira classificação e de Ruim a Extremamente ruim na segunda.

A condição de estabilidade geotécnica avaliada a partir do gráfico de estabilidade proposto por Barton et al. (1974), indicam que em todos os pontos o maciço estaria na Zona de Instabilidade.

No entanto, levando em consideração o longo tempo para a formação das cavernas em relação às escavações antrópicas (tratadas nestas classificações) e, por conseqüente sua natural estabilidade, além da investigação feita no decorrer de todos os condutos quanto a existência de blocos e lajes susceptíveis à ruptura e deslizamento, somente o ponto P3 tem alta fragilidade geotécnica devido ao

intenso fraturamento do maciço e grandes proporções do vão. Além disso, as análises cinemáticas das possíveis cunhas formadas indicam instabilidade nas paredes e tetos, quando o Fator de Segurança é próximo ou menor que 1. O que torna mais alarmante a situação neste ponto.

Sugere-se que a visitação neste ponto seja suspensa por parte do gerenciamento do PEIB, principalmente em períodos chuvosos - quando é possível perceber escorrimentos nas fraturas abertas no teto do salão. Além disso, é recomendado para que a gerencia do Parque evidencie informações sobre área de risco geotécnico e a recomendação do uso de capacetes e lanternas pelos visitantes.

REFERÊNCIAS

- BARTON, Nicholas; LIEN, Reidar; LUNDE, J. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. **Rock mechanics**, v. 6, n. 4, p. 189-236, 1974.
- BIENIAWSKI, Zdzisław Tadeusz; BIENIAWSKI, Z. T. Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering. **John Wiley & Sons**, 1989.
- BRANDI, Iuri et al. **Geotecnia aplicada à previsibilidade de impactos na integridade física de cavidades naturais subterrâneas, Carajás-PA**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA. 2015. p. 533-541. Disponível em: < http://www.cavernas.org.br/anais33cbe/33cbe_533-541.pdf>.
- DEERE, D. U. Geological considerations. In: STAGG, R. G.; ZIENKIEWICZ, D. C. **Rock Mechanics in Engineering Practice**. New York, 1968. p. 1-20.
- DUTRA, Georgete Macedo. **Análise de susceptibilidade de duas cavidades em litologia de ferro na Serra do Gandarela, MG. Estudo de caso: AP_0009 e AP_0038**. 2017.
- GUIDICINI, G. et al. **Um método de classificação geotécnica preliminar de meios rochosos**. Semana Paulista de Geologia Aplicada, v. 4, p. 275-282, 1972.
- IEF, Instituto Estadual de Florestas. **Plano de Manejo do Parque Estadual do Ibitipoca**. Minas Gerais 2006.
- ISRM Commission on Testing Methods (1981) **Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses**, in Rock Characterization, Testing and Monitoring, ISRM Suggested Methods, (edited by E.T. Brown), Pergamon Press, pp. 3-52.
- LACERDA et al. **Caracterização geomecânica do maciço rochoso da Gruta dos Viajantes, Parque Estadual do Ibitipoca, sudeste de Minas Gerais**. In: Anais do 34º Congresso Brasileiro de Espeleologia. Anais... In: 34º CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA. Ouro Preto/MG-Brasil. 2017. Disponível em: < http://www.cavernas.org.br/anais34cbe/34cbe_261-275.pdf>.
- NOCE, T. S. **Proposta de zoneamento geotécnico de cavidades naturais em formações ferríferas**. 2016.
- PALMSTROM, A. **The volumetric joint count – a useful and simple measure of the degree of jointing**. In IV CONGRESS INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY, 1982, New Delhi. Proceedings... IAEG, 1982. p.221-228.
- VALENTIM, Raul Fontes. **Classificação geomecânica da cavidade natural subterrânea BRU_0005, município de São Gonçalo do Rio Abaixo, MG**. 2016.