



## ANAIS do 34º Congresso Brasileiro de Espeleologia

Ouro Preto SP, 13-18 de junho de 2017 - ISSN 2178-2113 (online)



O artigo a seguir é parte integrando dos Anais do 34º Congresso Brasileiro de Espeleologia disponível gratuitamente em [www.cavernas.org.br/34cbeanais.asp](http://www.cavernas.org.br/34cbeanais.asp)

Sugerimos a seguinte citação para este artigo:

LACERDA, S. G.; *et al.*. Caracterização geomecânica do maciço rochoso da Gruta dos Viajantes, Parque Estadual do Ibitipoca, sudeste de Minas Gerais. In: RASTEIRO, M.A.; TEIXEIRA-SILVA, C.M.; LACERDA, S.G. (orgs.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 34, 2017. Ouro Preto. *Anais...* Campinas: SBE, 2017. p.261-275. Disponível em: <[http://www.cavernas.org.br/anais34cbe/34cbe\\_261-275.pdf](http://www.cavernas.org.br/anais34cbe/34cbe_261-275.pdf)>. Acesso em: *data do acesso*.

A publicação dos Anais do 34º CBE contou com o apoio do Instituto Brasileiro de Mineração. Acompanhe a cooperação SBE-IBRAM em [www.cavernas.org.br/sbe-ibram](http://www.cavernas.org.br/sbe-ibram)

Esta é uma publicação da Sociedade Brasileira de Espeleologia.  
Consulte outras obras disponíveis em [www.cavernas.org.br](http://www.cavernas.org.br)



**IBRAM** 40 anos  
INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO  
Brazilian Mining Association  
Câmara Mineira de Brasil

## CARACTERIZAÇÃO GEOMECÂNICA DO MACIÇO ROCHOSO DA GRUTA DOS VIAJANTES, PARQUE ESTADUAL DO IBITIPOCA, SUDESTE DE MINAS GERAIS

*GEOMECHANICAL CHARACTERIZATION OF THE ROCK MASS OF VIAJANTES CAVE, PARQUE ESTADUAL DO IBITIPOCA, SOUTHEAST OF MINAS GERAIS.S*

**Syro Gusthavo LACERDA; Paulo Eduardo Santos LIMA; Vitor Hugo BERNARDES; Guido Goris VERNOOY; Pedro Henrique ASSUNCAO; Isaac Daniel RUDZNIC**

Sociedade Excursionista & Espeleológica – SEE, Ouro Preto/MG.  
Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP, Ouro Preto/MG.

Contatos: [syrolacerda@yahoo.com.br](mailto:syrolacerda@yahoo.com.br).

### Resumo

O Parque Estadual do Ibitipoca (PEI) é uma Unidade de Conservação (UC) gerido pelo Instituto Estadual de Florestas (IEF) a partir de seu plano de manejo definido em 2006. O Parque conta com diversas atrações turísticas como quedas d'água, riachos, fauna e flora preservadas e diversas cavernas. Estas cavernas, formadas a partir de processos de dissolução e erosão, recebem vários turistas durante todo ano que, porventura, podem comprometer sua fragilidade. A fragilidade de uma cavidade natural está condicionada diante de parâmetros geotécnicos de seu maciço rochoso e grau de perturbação. A caracterização geomecânica busca identificar estes parâmetros, classifica o maciço rochoso de acordo com Bieniawski (1989) e Barton (1974), mas também aponta regiões de instabilidade de acordo com o tamanho do vão. Apesar destas classificações serem aplicadas em escavações e túneis, Noce (2016) aponta a aplicabilidade dos métodos para cavidades em minério de ferro. Baseado nesta aplicabilidade, foi realizada a caracterização geomecânica do maciço rochoso da Gruta dos Viajantes, localizada no PEI, com intuito de averiguar sua competência e sua fragilidade geotécnica. Os resultados podem mostrar regiões de instabilidade no interior da cavidade e sugerir que instalações de infraestrutura do parque ou mesmo a visita concentrada de turistas sejam evitadas.

**Palavras-Chave:** geomecânica; caracterização geomecânica; geotecnia cárstica.

### Abstract

*The Parque Estadual do Ibitipoca (PEI) is a Conservation Unit (UC) managed by the Instituto Estadual de Florestas (IEF) based on its management plan defined in 2006. The park has several tourist attractions such as waterfalls, preserved flora and fauna beside various caves. These caves, formed from processes of dissolution and erosion, receive many tourists throughout the year, but may perhaps compromise their fragility. A fragility of a natural cavity conditioned by a geotechnical of its rock mass and a degree of disturbance. Geomechanical characterization riches identify these parameters, classify the rock mass by Bieniawski (1989) and Barton (1974), but also notes the regions of instability according to the size of the country. Nice (2016) shows the application of this classifications in ion caves. Based on the applicability, a geomechanical characterization of the rocky mass of the Gruta dos Viajantes, PEI, was done in order to ascertain its competence and its geotechnical fragility. The results suggest that the infrastructure facilities of the park or even a concentrated tour of tourists should be avoided.*

**Key-words:** geomechanical; geomechanical characterization; geotechnical karst.

## 1. INTRODUÇÃO

As Unidades de Conservação (UC) são ferramentas de grande importância de proteção ao patrimônio natural, garantindo a conservação da biodiversidade e o uso público de forma sustentável. A gestão destas unidades se dá através de seu Plano de Manejo que, de acordo com os objetivos gerais da UC, estabelece o zoneamento e as normas

vigentes no uso da área e o manejo dos recursos naturais, incluindo a implementação das estruturas físicas necessárias.

No Brasil, atualmente, o Instituto Estadual de Florestas (IEF) adota uma metodologia inovadora de Plano de Manejo Adaptativo nas políticas de gestão dos parques. Este plano diferencia-se do convencional na medida em que se aplica o conceito

de experimentação ao desenho e à implementação de políticas de recursos naturais e ambientais. A experimentação é definida no momento em que existem incertezas sobre a resposta dos ecossistemas em decorrência das ações de manejo. Para isso, utilizam-se algumas hipóteses de comportamento que, se os resultados forem alcançados, a hipótese se confirma, caso contrário, quando a hipótese não se confirma, esta forma de manejo possibilita o aprendizado.

Buscando minimizar estas incertezas e convergir as hipóteses, as ciências naturais investigam este comportamento de resposta do ecossistema em virtude das ações do manejo e monitoram parâmetros importantes, para que assim possam garantir o uso sustentável do ecossistema em que o parque está inserido.

A espeleologia é uma ciência natural que estuda as cavidades naturais, bem como sua gênese e processos evolutivos que definem suas morfologias atualmente, além de estar vinculada com outros ramos da ciência, como geologia, biologia, paleontologia, entre outros.

Dentro desta multidisciplinaridade está inserida a Geomecânica – ciência que caracteriza e avalia o comportamento do maciço rochoso submetido à aplicação de forças mecânicas e/ou sujeito a aberturas subterrâneas, sejam elas naturais ou escavadas artificialmente. As cavernas são aberturas naturais subterrâneas e a caracterização e avaliação do comportamento do maciço rochoso em que elas se inserem é válido quando deseja-se preservar sua integridade física diante dos possíveis impactos que um empreendimento ou a visitação turística pode causar (NOCE, 2016).

A Gruta dos Viajantes está inserida na UC do Parque Estadual do Ibitipoca (PEI) e é aberta a visitas diárias durante todo o ano. A cavidade está localizada próxima ao Pico do Pião, faz parte do circuito que leva o nome do pico, tem fácil acesso e ainda apresenta fácil deslocamento de seus visitantes.

O impacto que as visitas provocam e o comportamento natural do maciço rochoso ao longo do tempo geológico motivaram o trabalho de caracterização geomecânica e segundo a proposta de zoneamento geotécnico recentemente aplicado à cavidades naturais. Este trabalho pode auxiliar na programação de visitas do PEI à gruta bem como propor áreas frágeis da cavidade, algumas delas sujeitas a queda de blocos, a fim de prevenir acidentes durante o percurso de visitação.

## 2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

### Localização e vias de acesso

A Gruta dos Viajantes está inserida no Parque Estadual do Ibitipoca (PEI), UC que abrange os municípios de Lima Duarte, Santa Rita do Ibitipoca e Bias Fortes. A **Figura 1** ilustra o mapa de localização do PEI.

Possui coordenadas das bocas UTM Datum WGS'84 616466E, 7599012N (Boca 1) e 616477E, 7599221 (Boca 2), e altitude de 1663m. A gruta ainda pertence ao circuito turístico do Parque denominado “Circuito do Peão”, que recebe este nome devido ao seu último e segundo mais elevado ponto turístico “Pico do Peão” – onde encontram-se as ruínas da antiga Capela Senhor Bom Jesus da Serra (IEF, 2008) (**Figura 2**).

O Parque está localizado perto de grandes centros urbanos, tais como as cidades de Belo Horizonte e Juiz de Fora, em Minas Gerais e a cidade do Rio de Janeiro, RJ. O acesso ao Parque é feito por via terrestre pela BR 267, que liga a cidade de Lima Duarte à rodovia BR 040, próximo ao trevo para Juiz de Fora. De Lima Duarte segue-se 30 km de estrada de terra até o distrito municipal de Conceição de Ibitipoca, que está a 3 km da portaria do Parque. O Parque está localizado a 80 km de Juiz de Fora, 260 km do Rio de Janeiro, 340 km de Belo Horizonte e 470 km de São Paulo (IEF, 2007).

### Geologia

A área localizada no sudeste de Minas Gerais, em um contexto geotectônico, compreende a porção entre as faixas orogênicas Brasília e Ribeira. Unidades geotectônicas individualizadas no Ciclo Brasileiro que apresentam manifestações magmático-tectono-metamórficas a cerca de 900Ma e 500Ma e que delimitam estruturalmente a região a partir de suas evoluções. O que confere a região uma particularidade de ampla zona de interferência tectônica (PEDROSA-SOARES, 2003) (**Figura 3**).

Nesta região ainda encontram-se duas grandes unidades metamórficas pré-cambrianas, além de corpos ígneos e rochas sedimentares do Cretáceo ao Terciário e sedimentos do Quaternário (PEDROSA-SOARES, 2003).

As unidades que integram a região de Lima Duarte e de Conceição do Ibitipoca constituem o embasamento arqueano-paleozoico do Complexo Mantiqueira e a metassequência neoproterozoicas sobrejacente Metassequência Andrelândia, além de

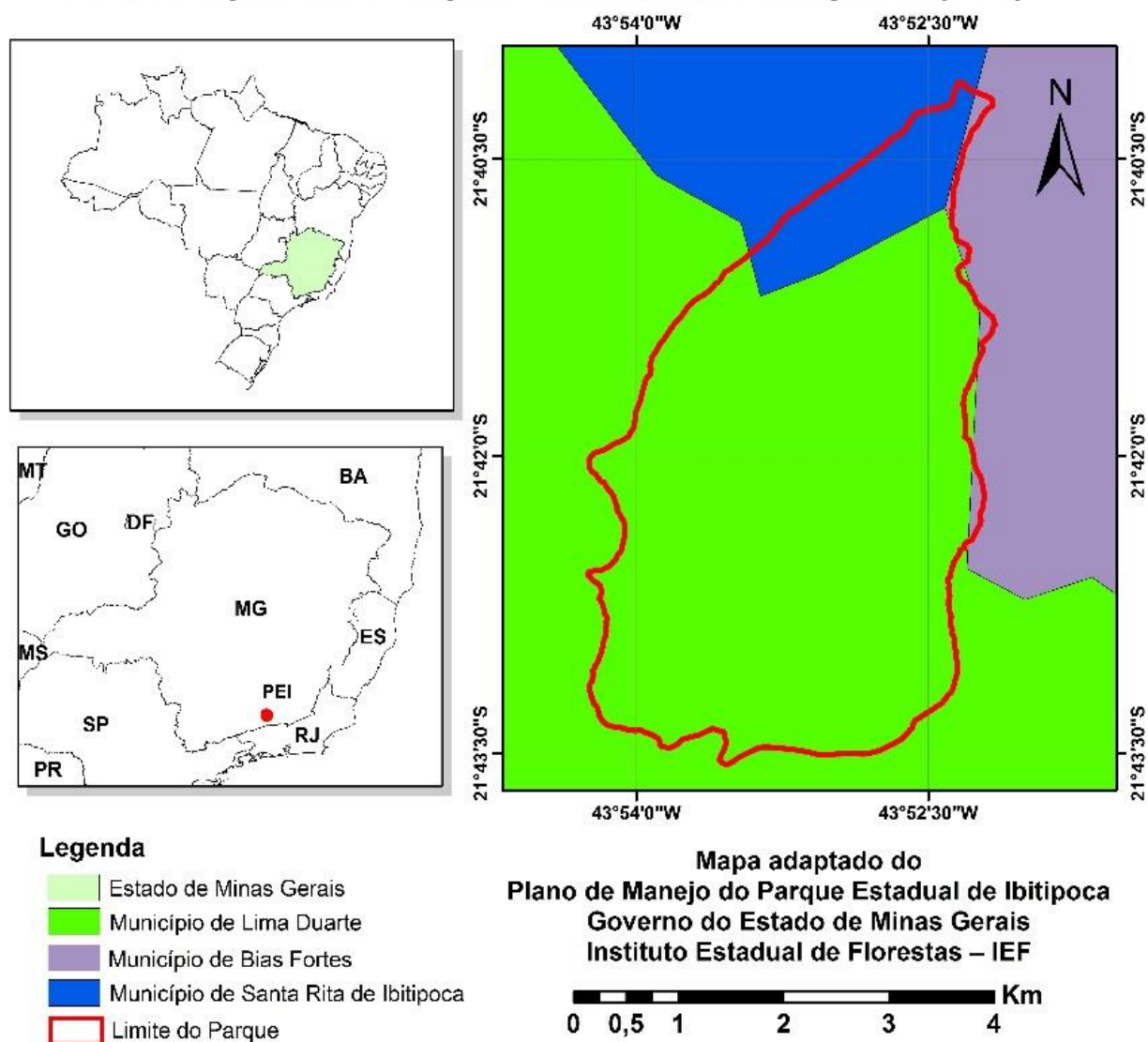
depósitos coluviais do Quaternário comuns nas escarpas das serras (SILVA, 2004).

### Estratigrafia

A Metassequência Andrelândia, subdividida em Sequência Carrancas e Sequência Serra Turvo, define uma série de sequências deposicionais

alóctones e autóctones metamorfizadas em variados graus de metamorfismo, desde xisto-verde até granulito. Compreende uma sucessão metassedimentar constituída por xistos, paragneisses, quartzitos, filitos, anfibólios, gonditos e rochas calcissilicáticas; com rochas ígneas associadas (RIBEIRO et al., 2003). Sua coluna estratigráfica é ilustrada na **Figura 4**.

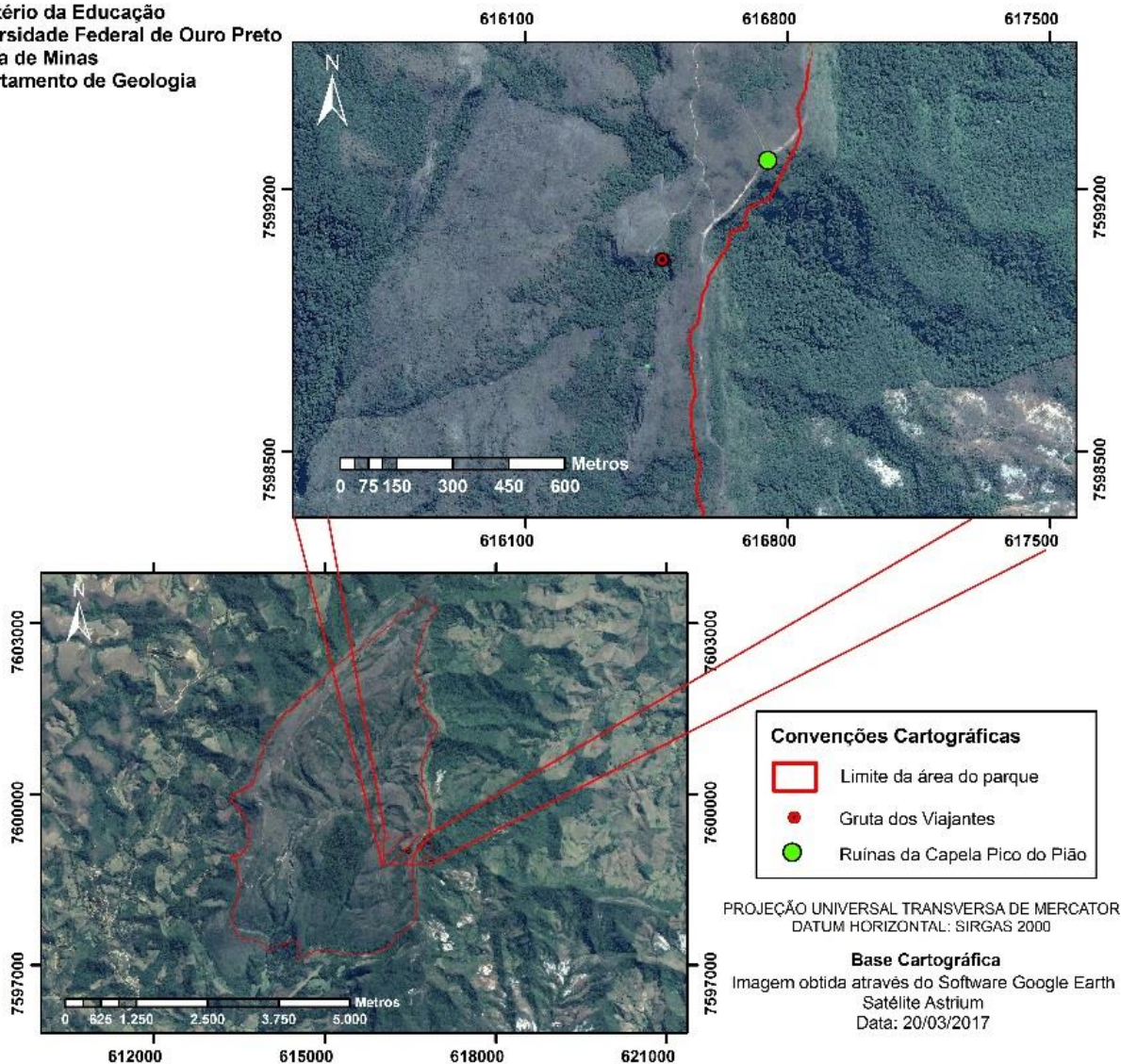
## Localização do Parque Estadual do Ibitipoca (PEI)



**Figura 1:** Mapa de localização do Parque Estadual do Ibitipoca (PEI).

## LOCALIZAÇÃO DA GRUTA DOS VIAJANTES

Ministério da Educação  
Universidade Federal de Ouro Preto  
Escola de Minas  
Departamento de Geologia



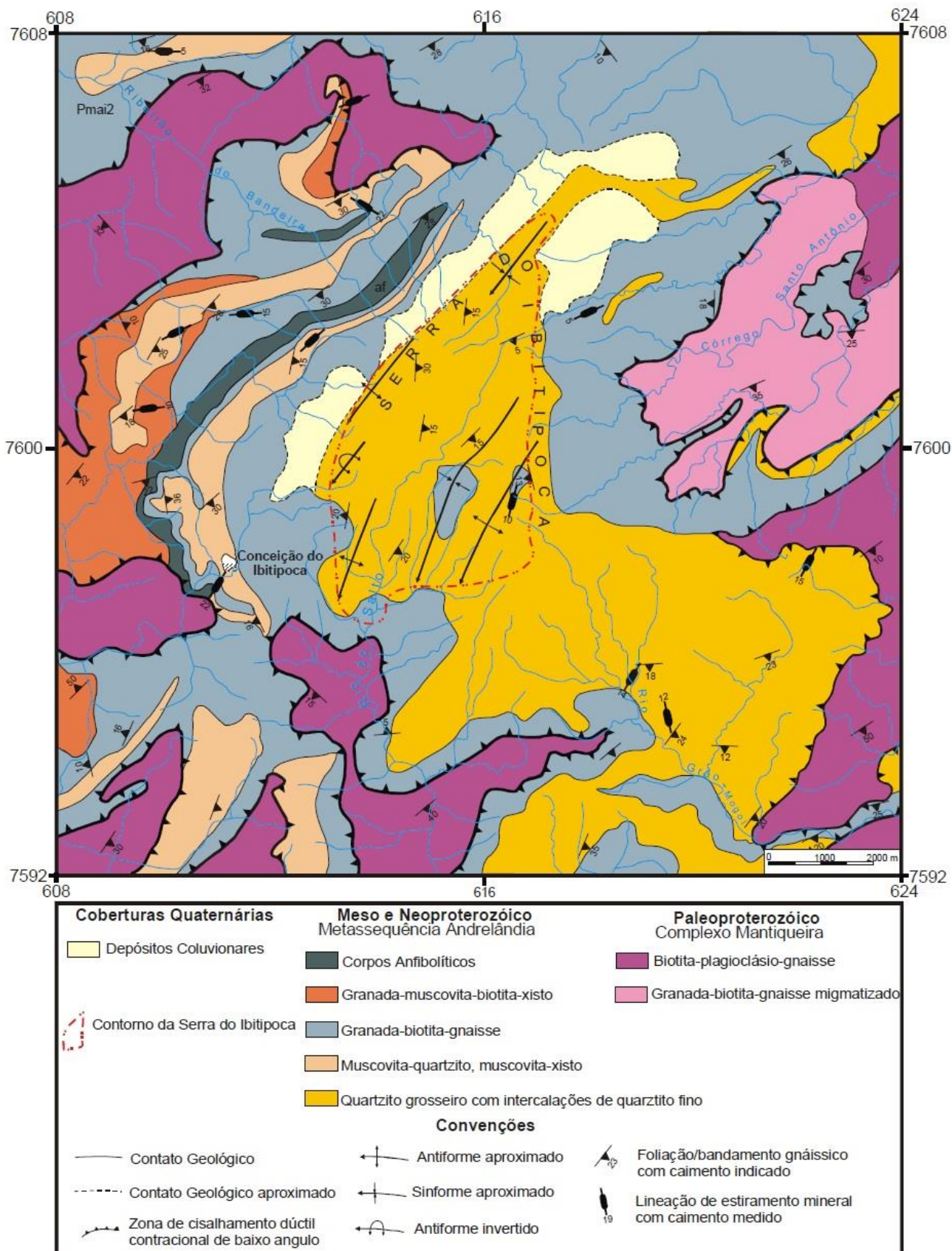
**Figura 2:** Mapa de localização da Gruta dos Viajantes.

A Sequência Carrancas compõe o pacote estratigráfico existente na Serra do Ibitipoca que por sua vez pode ser também compartimentada em três unidades (NUMMER, 1991). Estas unidades apresentam pelo menos cinco variantes litológicas, sendo elas: Granada-muscovita-biotita-xisto; Granada-biotita-gnaiss; Anfibólitos; Quartizito Grosseiro; Muscovita-quartizito, quartizito-xisto. Em alguns pontos da serra é possível encontrar Coberturas Quaternárias de depósitos coluviais (SILVA, 2004).

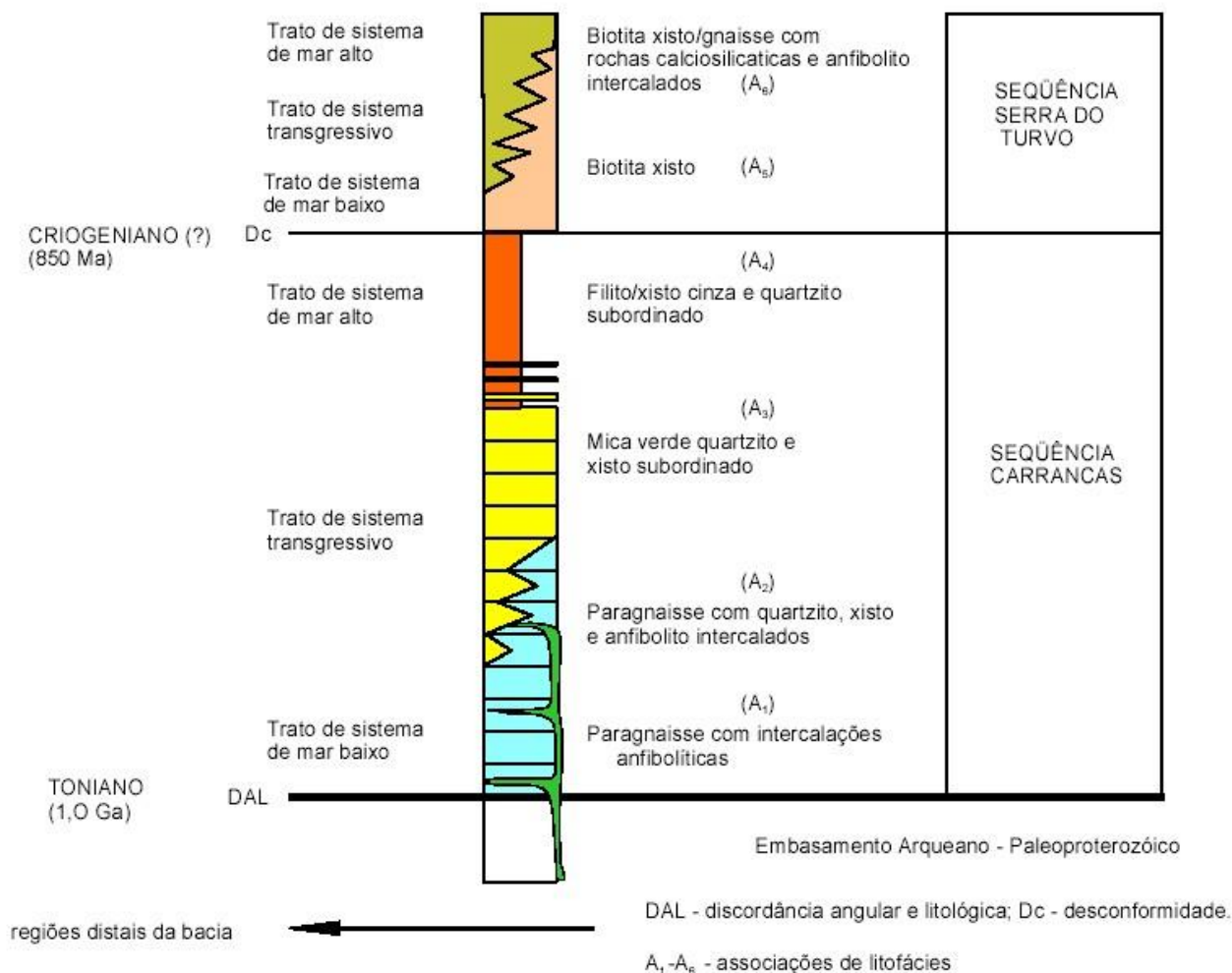
O Quartizito grosseiro é a principal litologia que constitui o Parque Estadual do Ibitipoca, cobrindo cerca de 90% de sua área total (ZAIDAN, 2013). Esta litologia ainda ocorre espessamento e adelgaçamento de sua espessura, além de variações granulométricas em bandas grossas de 2 metros de

espessura e de poucos centímetros quando em contato com mica-xisto e quartzo-xisto (NUMMER, 1991).

Esta litologia pode ser dividida em duas zonas distintas em função de sua granulometria e composição mineralógica, ora apontando concentrações maiores ou menores de muscovita. Enquanto no nível inferior este quartizito apresenta predominância de granulometria média a grossa, com raras intercalações de granulometria fina; o nível superior apresenta granulometria predominantemente grossa com frequentes níveis de granulometria média a fina (NUMMER, 1991) (**Figura 5**).



**Figura 3:** Mapa Geológico da região da Serra do Ibitipoca Adaptado de CPRM (1991) com informações de Nummer (1991) e Corrêa Neto (1993). Fonte: SILVA, 2004.



**Figura 4:** Coluna estratigráfica da Metassequência Andrelândia. (PACCIULO et al. 2003).



**Figura 5:** Litologias quartzito grosseiro (porção superior) e quartzito fino micáceo (porção inferior).

### Geologia Estrutural

Os conceitos estruturais apresentados nesse tópico foram baseados na dissertação de mestrado de Silva (2004).

A área na qual o Parque Estadual de Ibitipoca (PEI) está inserido situa-se em uma porção transicional entre duas faixas de dobramento: a oeste

tem-se a Faixa Brasília e a leste a Faixa Ribeira. De acordo com Pedrosa-Soares (2003), essa região inclui uma ampla zona de interferência tectônica por ser localizada em uma porção transicional entre as faixas de dobramento Brasília, a oeste, e Ribeira, a leste. O autor ainda sugere que estas duas unidades geotectônicas foram individualizadas no Ciclo Brasileiro e tiveram as primeiras manifestações magmático-tectono-metamórficas há cerca de 900 Ma e as últimas a 500 Ma.

O compartimento estrutural no qual o PEI está inserido envolve a ocorrência de dois episódios relacionados ao evento orogenético Brasileiro. Segundo Ribeiro et al. (2003), esse evento gerou cavalgamentos e dobramentos sucessivos, zonas de cisalhamentos subverticais além de dois tipos de metamorfismo gerados, um de alta e outro de baixa pressão (**Figura 6**).

A região da Serra do Ibitipoca foi submetida a intensa atividade tectônica com características

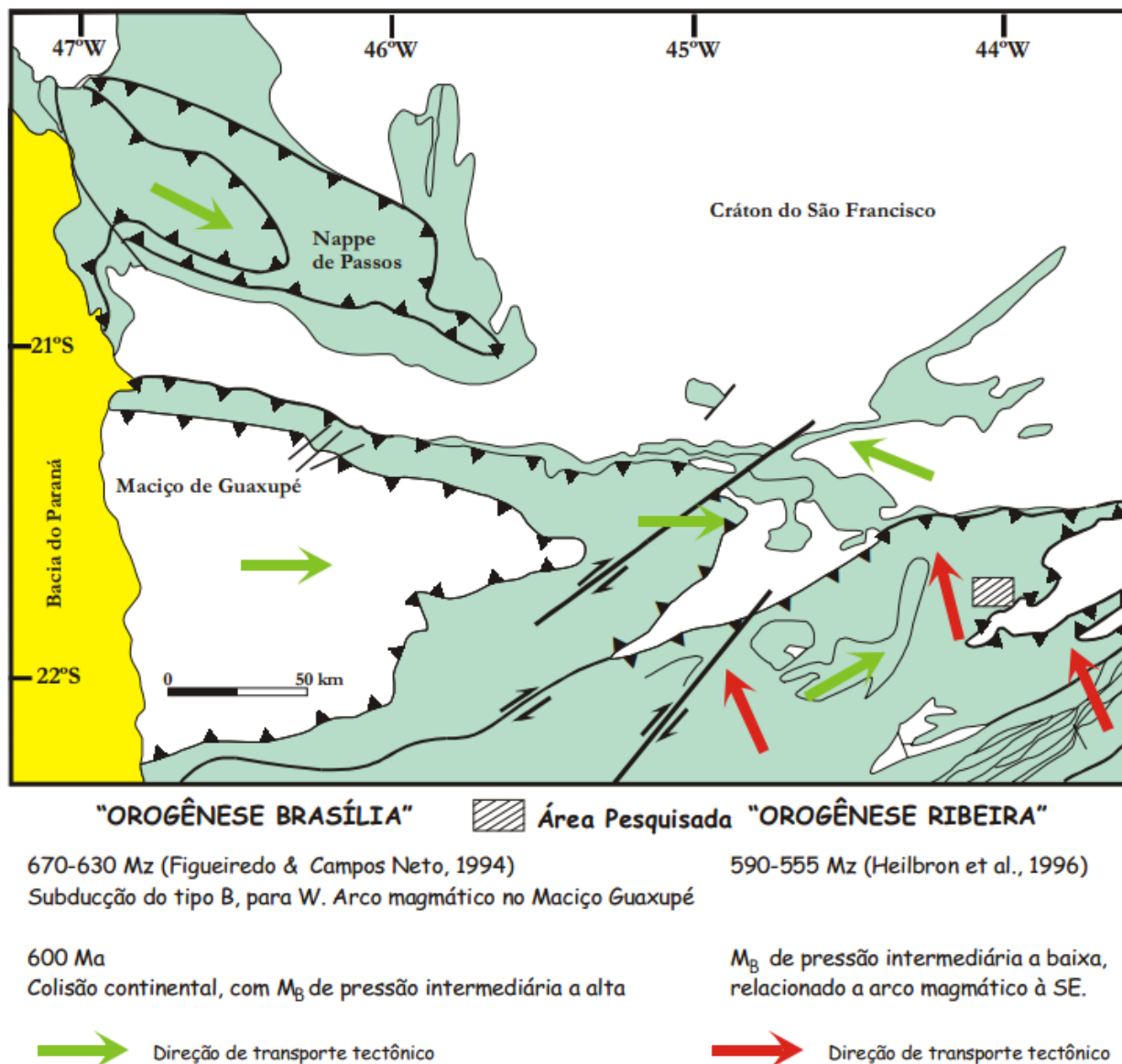
polideformacionais em diferentes escalas e com padrão deformacional complexo (Nummer 1991). Trouw et al. (1983), Bitar (1990), Nummer (1991) e Pinto & Grossi Sad (1991) discutem que ocorreram três fases de deformação nos metassedimentos, sendo denominadas fases D1, D2 e D3 (SILVA 2003).

Na região, as rochas da metassequência Andrelândia, que recobrem o embasamento, é comum a ocorrência de empurrões, que geraram *nappes* e apresentam corpos de rochas ultramáficas e retro-eclogitos. (RIBEIRO et al., 2003 apud SILVA 2004). Segundo Nummer (1991), essa sequência sedimentar é dividida em uma porção alóctone superior, e outra autóctone, inferior. Por

essa razão, é comum apresentarem graus de metamorfismos variados, que vão desde xisto verde até granulito. Ainda segundo o autor, estas rochas são caracterizadas pela existência de dois sistemas de empurrão, com sentido para leste e para o norte.

### Geomorfologia

O PEI corresponde à área da Serra do Ibitipoca, estando situado numa faixa de grande complexidade litológica-estrutural associada às áreas de dobramentos, no Cinturão Orogênico do Atlântico, sendo uma porção que se destaca topograficamente no Planalto de Andrelândia (BRASIL, 1983; ZAIDAN, 2002; RODELA, 2010).



**Figura 6:** Mapa interpretativo da tectônica relacionada às estruturas das faixas Ribeira e Brasília (PACCIULO et al. 2003 in SILVA 2004).



Segundo Bento e Rodrigues (2013) a Serra de Ibitipoca encontra-se em um relevo montanhoso e escarpado, cuja ponto culminante é o Pico da Lombada com 1784 metros de altitude. A serra se diferencia do seu entorno pelo contraste topográfico, justificado pela erosão diferencial, e forma de relevo, sendo que o relevo das áreas adjacentes é predominantemente descrito como Mares de Morros sustentado por gnaisses do Complexo Mantiqueira e a serra sustentada por quartzitos pertencentes ao Grupo Andrelândia (**Figura 7**).



**Figura 7:** Visão da Serra do Ibitipoca para os “Mares de Morros” adjacentes.

As escarpas inclinadas da serra é constituída por duas dobras anticlinais cujas as suas regiões de charneira foram destruídas pelos processos erosivos, apresentam declividades de 15° a 45°, podendo atingir 65°, com paredões abruptos a leste e escalonado a oeste (SCHAEFER, 2006).

Bento e Rodrigues (2013) destacam a importância do controle estrutural associado à litologia e clima locais, na formação das feições geomorfológicas que ocorrem no PEI, tais como cânions, quedas d’água, praias fluviais, grutas, entre outros, que são os grandes atrativos turísticos do parque, essas feições podem ser individualizadas em duas principais categorias de análise dentro da geomorfologia: geomorfologia fluvial e geomorfologia cárstica.

## Espeleologia

As cavernas da Serra de Ibitipoca se desenvolvem por toda a área do parque, tendo dimensões variáveis, com cavernas de 100m a cavernas com mais de 3000m.

As cavernas da Serra de Ibitipoca podem ser divididos em 3 grupos. O grupo III, caracterizado principalmente por pontes e arcos ao longo dos

cursos d’água superficial, estes não são relevantes ao estudo (NETO & BAPTISTA FILHO, 1997).

O grupo I é caracterizado em sua morfologia principalmente por cortes retangulares a ovais em planta apresenta padrões branchwork com passagens angulares. Nas áreas onde a caverna se encontra mais próxima à superfície podem apresentar dolinas e/ou claraboias (NETO & BAPTISTA FILHO, 1997).

O grupo de Cavernas I apresenta controle estrutural por meio de fraturas paralelas ao mergulho do acamamento, gerando galerias estreitas e longas, e um segundo padrão em que as galerias se desenvolvem paralelas a direção do acamamento, gerando galerias menores, porém mais volumosas. Apresenta também um controle estratigráfico principalmente no quartzito micáceo, onde se desenvolve níveis ricos em pipes, condicionados pelo plano de foliação (NETO & BAPTISTA FILHO, 1997).

O Grupo II é caracterizado por um desenvolvimento linear menor que o grupo I, em torno de 180m a 600m, enquanto o grupo I podem alcançar mais de 3000m. Apresenta padrões network rudimentares em planta, com galerias levemente meandantes e cortes simples, retangulares ou triangulares e não apresentam controle estratigráfico (NETO & BAPTISTA FILHO, 1997).

Em ambos os grupos são observados espeleotemas de sílica; são principalmente coralóides e escorrimentos, além de estalactites e estalacmites com alguns centímetros de comprimento, porém em menor quantidade. São característicos de ambos os grupos sedimentos de origens fluviais e gravitacionais (NETO & BAPTISTA FILHO, 1997).

Os sedimentos fluviais são caracterizados por grãos médios a grossos, mal selecionados, com baixo arredondamento e esfericidade. Os sedimentos gravitacionais são provenientes da queda de blocos nos salões e galerias, formando no teto um aspecto de cone invertido (NETO & BAPTISTA FILHO, 1997).

## 3. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho foi seguida a seguinte metodologia:

A. Levantamento bibliográfico e cartográfico da área de estudo, bem como a elaboração do mapa espeleométrico definido pelo método de levantamento BCRA e nível de detalhamento 4D

utilizando ainda os softwares AutoCad 2013 e ArcGis 2010. Com auxílio deste mapa foi possível visualizar a posição geográfica de toda cavidade, além da localização dos pontos amostrados.

- B. Caracterização do maciço rochoso com análise dos principais parâmetros que podem afetar a fragilidade das cavernas. Dentre estes parâmetros destacam-se a litologia, o estado de alteração da rocha, a coerência e condição das descontinuidades. As descontinuidades do maciço também foram avaliadas de acordo com sua orientação e mergulho, rugosidade, condição das paredes, preenchimento, abertura, persistência e número de repetições de cada família de descontinuidade.
- C. Investigação estrutural e análise cinemática foi realizada a fim de prever a existência de eventuais blocos formados a partir da combinação das orientações e mergulhos das descontinuidades presentes no maciço rochoso. Estes blocos podem ser encontrados tanto nas paredes, quanto no teto das cavidades naturais e escavações subterrâneas.
- D. Realização de ensaios de resistência utilizando o Martelo de Schmidt, ou Esclerômetro de Schmidt, para estimar valores da resistência ao cisalhamento do maciço rochoso. Esta metodologia, recentemente aplicada, define resultados animadores para estimação de resistência em maciços rochosos de cavidades ferríferas (BRANDI et al., 2015). Além disso, foram realizados ensaios de resistência a partir de testes simples utilizando canivete e martelo de geólogo de acordo com a ISRM (1981).
- E. Classificação geomecânica do maciço rochoso segundo o sistema de classificação RMR e Q, desenvolvidos por Bieniawski (1989) e Barton et al. (1974), respectivamente, foi realizada a fim de individualizar porções do maciço rochoso com qualidade geomecânica semelhantes e prováveis comportamentos similares. Para esta classificação foram coletados os parâmetros que cada sistema de classificação exige, tais como RQD (utilizado em ambos sistemas), grau de alteração das rochas, condições hídricas bem como das descontinuidades, etc.
- F. Definição da fragilidade da caverna de acordo com o tamanho dos vãos foi obtida a partir da relação entre este último e o índice Q da qualidade do maciço rochoso adaptado para cavidades naturais, uma vez que estas são

formadas em uma escala de tempo geológico muito maior que as escavações antrópicas analisadas pelo autor (NOCE, 2016).

#### **4. DISCUSSÃO E RESULTADOS**

##### **Características espeleológicas da cavidade**

A Gruta dos Viajantes possui 388 m de projeção horizontal, planta baixa com desenvolvimento linear, perfil horizontal e a morfologia dos cortes transversais abrange formas elipsoidais, triangulares e retangulares. Possui duas bocas que são ligadas através de um volumoso conduto e outras ramificações menos expressivas. Está inserida dentro dos quartzitos do Grupo Andrelândia e se desenvolve predominantemente na direção N-S, através de cunhas produzidas pela intersecção dos planos de fratura com o acamamento. O mapa espeleométrico é ilustrado na **Figura 8**.

A cavidade possui uma drenagem efêmera, que a corta por toda sua extensão, e gotejamentos próximos a suas bocas. Foram observados depósitos com seixos e matações, espalhados ao longo da cavidade, e grandes blocos em suas entradas. Seus depósitos químicos são representados por pequenos coraloides e micro-travertinos.

##### **Caracterização da rocha intacta**

A cavidade está inserida no contato entre as fácies quartzito grosseiro sacaroidal e quartzito fino feldspático micáceo. O nível com maior frequência de granulometria fina pode ser encontrado na parte inferior dos condutos, enquanto a parte superior dos condutos é composta pelo nível mais grosseiro do quartzito que sustenta o teto da caverna (**Figura 9**).

O quartzito grosseiro apresenta uma variação mineralógica e textural da base para o topo. Na base ele apresenta uma intercalação de quartzito grosso com quartzito xistoso, enquanto no topo tem textura granular maciça, com granulometria predominantemente grossa. A mineralogia básica é composta por quartzo e mica esverdeada. É classificado como rocha pouco alterada (W2), por apresentar cor original branca com uma fina cobertura de mineral ferruginoso, o que confere por vezes uma coloração mais avermelhada. Também pode ser classificada como rocha coerente (C1), pois possui superfície dificilmente riscável por lamina de aço e dificilmente quebrada ao golpe do martelo.



**Figura 8:** Mapa da Gruta dos Viajantes.



**Figura 9:** Contato entre as litologias quartzito grossoiro sacaroidal e quartzito fino feldspático micáceo.

A partir de testes feitos com o martelo de geólogo, o quartzito grossoiro foi classificado como rocha mediantemente resistente (R3), com superfície apenas riscável por lâmina de aço e quebrável a partir de um golpe firme com o martelo. A resistência a compressão uniaxial ( $\sigma_c$ ) estaria, dessa forma, inserida entre 25 e 50 MPa. Foram também realizados testes de resistência ao cisalhamento, utilizando o Martelo de Schmidt, que apontaram uma média de 28MPa.

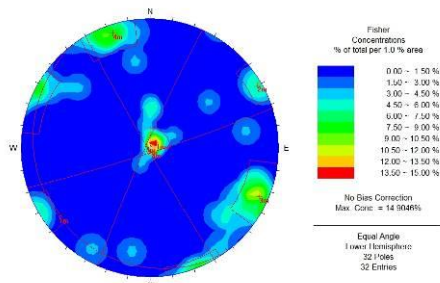
Já o quartzito fino micáceo possui textura granulométrica grosseira e granulometria fina. Possui constituição mineralógica básica de quartzo, feldspato esbranquiçado e mica branca. Pode ser classificado como rocha moderadamente alterada (W3), devido a alteração de cor de seus minerais constituintes. Ainda pode ser classificada como rocha pouco coerente (C3), uma vez que quebra com facilidade ao golpe do martelo e produz fragmentos que podem ser facilmente partidos manualmente. Possui também superfície facilmente riscável com lamina de aço.

Não foram possíveis os testes de resistência com o Martelo de Schmidt nesta litologia devido a sua baixa coerência. No entanto, testes de campo utilizando o martelo do geólogo apontam rochas mediantemente resistente (R4), que quebram-se com único golpe do martelo e as bordas dos fragmentos podem ser quebradas pela pressão dos dedos, enquanto o canivete corta o material.

### Caracterização estrutural

Foram realizadas medidas estruturais nas litologias quartzito grossoiro e, quando possível, no quartzito fino. As estruturas foram identificadas

através de amostragem de medidas utilizando o *software* Dips, do pacote de programas da Rocscience. Foram identificadas assim as estruturas de acamamento (S0) e de três famílias de descontinuidades J1, J2 e J3 (**Figura 10**).



**Figura 10:** Estereograma mostrando as atitudes do acamamento e das fraturas J1, J2 e J3.

O acamamento destas litologias é bem definido com uma atitude média de 233/07. No quartzito grosso, esta estrutura tem espaçamento entre 2 e 6 cm, enquanto no quartzito fino possui espaçamento menor que 6 cm. Em ambas litologias, esta estrutura tem persistência entre 10 e 20 m, além de mostrar aberturas maiores que 5 mm na parte grossa e entre 0,1 e 1mm na parte fina (**Figura 11**).



**Figura 11:** Acamamento do quartzito grosso mostrando aberturas maiores que 5mm.

Foram identificadas três famílias de fraturas diferentes na cavidade, sendo comum a observação de grandes cunhas no cruzamento destas com o acamamento. As atitudes médias destas famílias foram 294/86, 240/88 e 162/86, respectivamente. As fraturas apresentam características semelhantes, do ponto de vista geotécnico, com persistências de até 10 m e espaçamentos variando de 20 a 60 cm e 60 cm a 2 m, respectivamente. Possuem abertura geralmente entre 1 e 5 mm com preenchimento de

material argiloso. As superfícies destas fraturas são rugosas onduladas (**Figura 12**).



**Figura 12:** Estruturas J1, J2 e J3 observadas do teto da Gruta dos Viajantes.

### Qualidade do maciço rochoso

Foram realizados 8 pontos de classificação do maciço em função da mudança das características geotécnicas tanto da rocha intacta, quanto do número ou diferentes características das famílias de descontinuidades que cortavam o maciço. A partir dos parâmetros observados, foi feita a classificação RMR de Bieniawski (1989) e o índice Q de Barton (1974). A classificação de Barton é mais útil para o trabalho, uma vez que leva em consideração características geométricas dos condutos quando é estabelecida a estabilidade dos vãos.

### Rock Mass Rating (RMR)

Foram investigados os parâmetros para classificação do maciço rochoso em oito pontos da cavidade. Os parâmetros para esta classificação são:

- Ω Resistência à compressão uniaxial (estimada com auxílio do Martelo de Schmidt e do Martelo de geólogo);
- Ω RQD (*Rock Quality Designation*) obtido através da equação de Palmström, 1982;
- Ω Espaçamento das descontinuidades;
- Ω Condição das descontinuidades;
- Ω Condição de água.

O valor do RQD calculado a partir da equação de Palmström (1982) que leva em consideração o contador volumétrico de juntas, que é a soma do inverso dos espaçamentos de cada família de descontinuidades. Os valores obtidos através desta equação para os pontos são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1:** Valores do RQD calculados a partir da equação de Palmström (1982).

Ponto	S0		J1		J2		J3		AL		RQD (%)
	NSn	LS0 (m)	NJ1	LJ1 (m)	NJ2	LJ2 (m)	NJ3	LJ3 (m)	NJ4	LAL (m)	
1	17	1,00	10	2,00	6	2,00	2	1,00			42,4
2	25	1,00	7	2,00	4	2,00	2	2,00	2	5,00	20,95
3	37	1,00	6	1,00	6	1,00					5
4	19	1,00	8	2,00	6	1,00	6	1,00			39,1
5	23	0,70	9	1,00	12	1,00					5
6	26	1,00	9	1,00	5	3,00	2	1,00			5
7	25	1,00	6	1,00	5	1,00	8	1,00			12,7
8	16	0,30	6	1,00	4	1,00	7	1,00			5

Para cada parâmetro é atribuído uma pontuação que, quando somadas, é definida uma pontuação que classifica o maciço rochoso em uma escala de 0 a 100. Este maciço pode então ser classificado de Rocha de muito boa qualidade (81 a 100) até Rocha de muito má qualidade (<21).

Todos os pontos amostrados tiveram uma classificação de Rocha de má qualidade, comprovando a homogeneidade da cavidade em aspectos litológicos e estruturais. A baixa pontuação deve-se ao baixo espaçamento do acamamento e das famílias de descontinuidades (J1), mas também devido ao baixo valor do RQD (16,3 em média) e da influência média da água nos condutos que reduzem o valor do RMR (Figura 13).

### Rock Tunneling Quality Index (Q)

Os mesmos pontos classificados pelo sistema RMR também foram avaliados segundo os parâmetros utilizados por Barton, 1974. São eles:

Ω RQD (*Rock Quality Designation*) obtido através da equação de Palmström, 1982;

Ω Índice do número de famílias de descontinuidades ( $J_n$ );

Ω Índice de rugosidade das descontinuidades ( $J_r$ );

Ω Índice de alteração das paredes das descontinuidades ( $J_a$ );

Ω Índice de influência da água subterrânea ( $J_w$ );

Ω Índice de influência do estado de tensão do maciço (*SRF, Stress Reduction Factor*).

O índice Q é definido como:

$$Q = \left( \frac{RQD}{J_n} \right) \times \left( \frac{J_r}{J_a} \right) \times \left( \frac{J_w}{SRF} \right)$$

Esta metodologia classifica o maciço em nove classes, sendo valores maiores que 400 define um padrão geomecânico Excelente e valores entre 0,0001 e 0,01 define um maciço péssimo.

Os pontos amostrados receberam as pontuações indicadas para cada parâmetro e foram classificados um ponto como Classe VI – Ruim (1 a 4) e os demais pontos como Classe VII – Muito ruim (0,1 a 1) (Figura 13).

Estes valores reduzidos para o índice Q são devidos ao baixo valor de RQD, da alteração das paredes e características geotécnicas das descontinuidades. Este índice ainda toma como cuidado o tamanho do vão, o que justifica a penalidade que reduz ainda mais o cálculo do índice.

### Estabilidade dos vãos

A Figura 14 ilustra o ábaco de estabilidade de Barton (1974) e mostra que a maioria dos pontos da cavidade se encontram na zona de instabilidade, apenas com um ponto dentro da zona de estabilidade. A estabilidade dos vãos é dada pelo índice Q de Barton e a dimensão do vão de cada ponto analisado.

Os condutos, nos pontos amostrados, possuíam dimensão variando entre 1,45 m (embocadura ponto 5) até 21,00 m (próximo à boca 2) e baixos valores do índice Q resultando em menor estabilidade.

Apesar do baixo valor de Q, o ponto 5 é o que apresenta melhor estabilidade de acordo com o gráfico. Os demais pontos, devido ao baixo valor de Q e grandes dimensões do vão, apresentam-se na zona de instabilidade geotécnica (Figura 14).

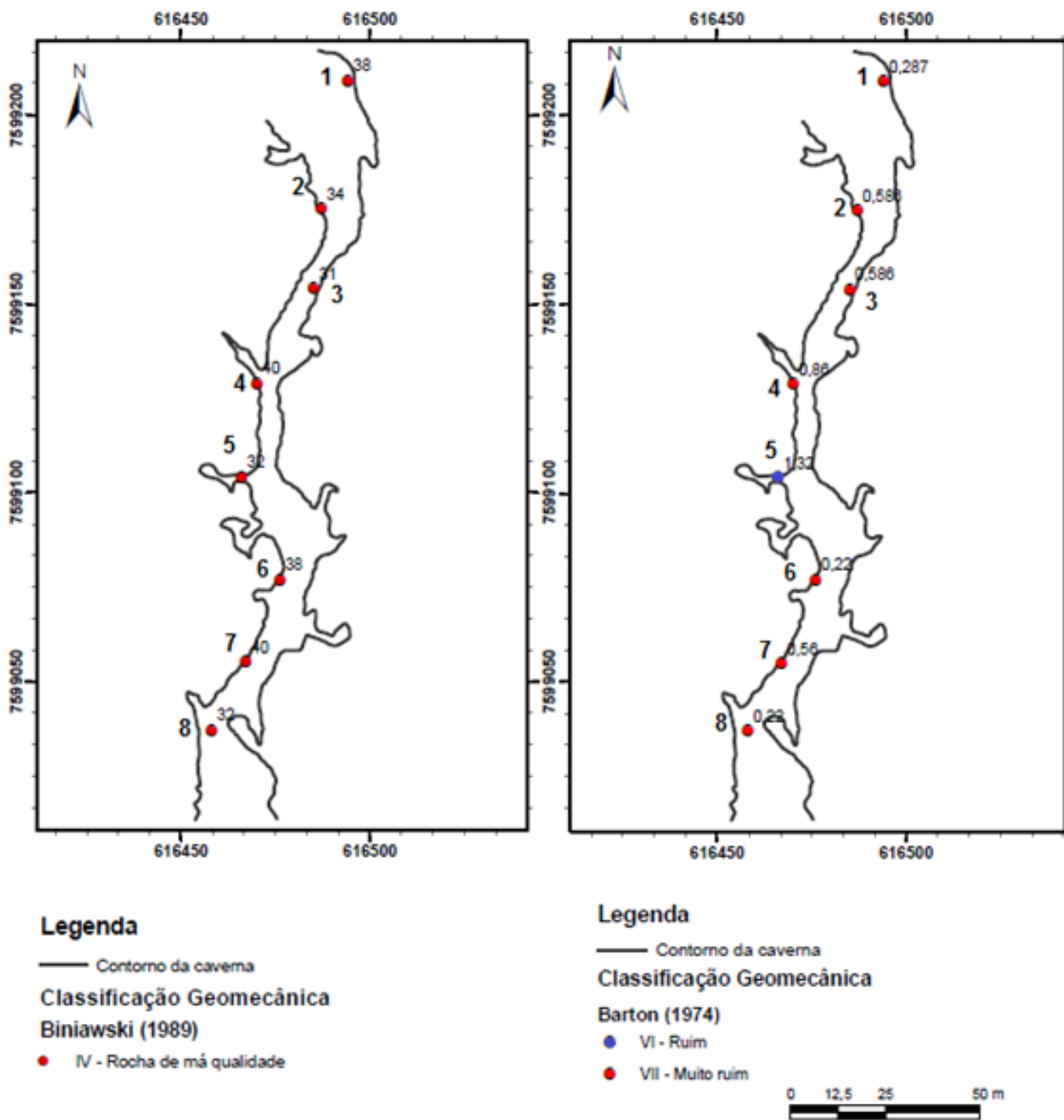


Figura 13: Mapa de classificação geomecânica segundo Bieniawski (1989) e o Índice Q de Barton (1974).

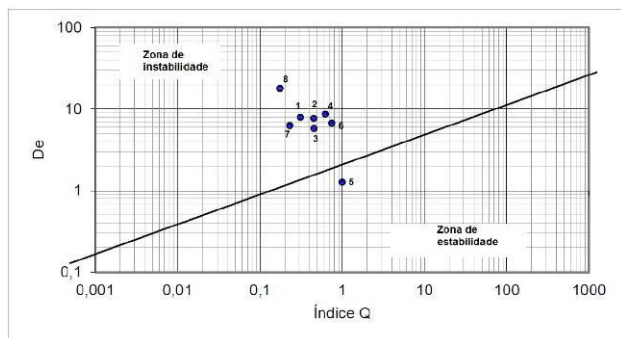


Figura 14: Relação de estabilidade entre tamanho dos vãos e índice Q da Gruta dos Viajantes. Fonte: Adaptado de Barton et al. 1974

## 5. CONCLUSÃO

A Gruta dos Viajantes, localizada do PEI, é uma cavidade natural com aproximadamente 390 m de projeção horizontal que recebe vários turistas durante todo ano. Esta cavidade ainda é formada a partir de processos de dissolução e erosão da rocha que resultaram em condutos e salões de grande volume. No interior da gruta, é possível observar sedimentos arenosos e lamosos além de blocos decimétricos e métricos que formam pilhas sob fraturas nas paredes e teto, evidenciando sua feição genética estrutural.

No interior destes condutos e salões foi realizada a caracterização geomecânica de seu maciço rochoso a fim de averiguar sua fragilidade. Foram realizados trabalhos de classificação geomecânica de acordo com Bieniawski (1989) e Barton (1974), mas também uma avaliação da estabilidade de acordo com o tamanho do vão a partir de ábacos conhecidos. Além disso, foram averiguadas as condições quanto ao risco geotécnico de desabamento de blocos em toda cavidade.

As classificações geomecânicas apontam um maciço rochoso de má qualidade e os pontos amostrados ainda encontram-se na zona de instabilidade. Os baixos valores foram encontrados devido ao alto grau de fraturamento do maciço rochoso, condições das descontinuidades (fraturas com pequeno espaçamento, persistentes e com abertura não preenchida) e influencia mediana da água. Apesar de sua baixa classificação,

Os trabalhos de inspeção geomecânica, que identifica regiões de risco geotécnico, quedas de blocos e deslizamentos, não apontam perigo para visitantes (blocos soltos ou lajes na iminência de queda), no entanto as visitas devem ser feitas utilizando-se capacete iluminação adequada devido ao comportamento imprevisível do maciço rochoso e assim evitar-se possíveis acidentes.

A caracterização geomecânica do maciço rochoso da Gruta dos Viajantes, apesar de apontar regiões de baixa estabilidade, diz muito respeito da condição da rocha intacta e das descontinuidades presentes, mas também auxilia em estudos de gênese e evolução de cavidades em rochas siliciclásticas. Este estudo diz respeito das condições geomecânicas do maciço rochoso da gruta, um estudo mais detalhado, contendo análises de condições hídricas bem como de depósitos de sedimentos e mesmo de estabilidade de blocos utilizando *softwares* adequados, pode ser útil ao parque que deve controlar as visitas diárias a gruta, a fim de evitar perturbações indesejadas que podem comprometer a estabilidade do maciço.

### AGRADECIMENTOS

Cordiais agradecimentos à Sociedade Excursionista e Espeleológica (SEE) pelo empréstimo de equipamentos e disponibilidade da equipe nos trabalhos de mapeamento espeleométrico da gruta. À Sociedade Carioca de Pesquisas Espeleológicas (SPEC) por compartilharem experiências e auxiliarem nos trabalhos de mapeamento. A gerência do PEI, João Carlos Lima de Oliveira e Rose Belcavelo por todo apoio e suporte.

### REFERÊNCIAS

- BARTON, N.; LIEN, R.; LUNDE, J. Engineering classification of rock masses for the design of rock support. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, Vienna, v. 6, p. 189-236, 1974.
- BENTO, L. C. M.; RODRIGUES, S. C. Aspectos geológico-geomorfológicos do Parque Estadual do Ibitipoca/MG: base para o entendimento do seu geopatrimônio. *Sociedade e Natureza*, v. 25, n. 2, p. 379-394, 2013.
- BIENIAWSKI, Z. T. Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil and petroleum engineering. Canada, 1989. 251p.
- BRANDI, Iuri; BARBOSA, Marcelo; GUIMARÃES, Rafael. Uso do esclerômetro de Schmidt na avaliação da resistência geomecânica de cavidades naturais subterrâneas em terrenos ferríferos, Carajás-PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA. 2015. p. 627-634. Acesso em: [http://www.cavernas.org.br/anais33cbe/33cbe\\_627-634.pdf](http://www.cavernas.org.br/anais33cbe/33cbe_627-634.pdf).
- BRASIL. Levantamento de Recursos Naturais – Rio de Janeiro/Vitória, Folhas SF.23/24. Rio de Janeiro: RADAMBRASIL, 1983. 779 p.
- BROWN, Edwin Thomas. Rock characterization, testing & monitoring: ISRM suggested methods. 1981.
- IEF – Instituto Estadual de Florestas. Guia de Turismo Ecologico do Parque Estadual do Ibitipoca. 2008. Editare Editora Ltda.

- IEF – Instituto Estadual de Florestas. Plano de Manejo do Parque Estadual do Ibitipoca. 2007.
- NETO A. V. C. & J. BAPTISTA FILHO. Espeleogênese em quartzitos da Serra do Ibitipoca, sudeste de Minas Gerais. Anuário do Instituto de Geociências – Volume 20 – p 75-87. 1997.
- NOCE, Tatiana Soares. Proposta de zoneamento geotécnico de cavidades naturais em formações ferríferas. 2016. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Ouro Preto.
- NUMMER, A. R. 1991. Análise estrutural e estratigráfica do Grupo Andrelândia na região de Santa Rita do Ibitipoca – Lima Duarte, sul de Minas Gerais. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- PACCIULO, F.V.P.; TROWN, R.A.J.; RIBEIRO, A. 2003. Geologia da Folha Andrelândia. In: Projeto Sul de Minas etapa I. COMIG/UFMG/UFRJ/UERJ.
- PALMSTROM, Arild. Measurements of and correlations between block size and rock quality designation (RQD). Tunnelling and Underground Space Technology, v. 20, n. 4, p. 362-377, 2005.
- PEDROSA-SOARES, A.C. 2003. Contexto geotectônico da região do projeto Sul de Minas – Etapa I. In: Projeto Sul de Minas – etapa I. COMIG/UFMG/UFRJ/UERJ.
- PINTO, C.P.; GROSSI-SAD, J.H. 1991 Sinopse da Geologia Regional. In: Programa Levantamentos Geológicos do Brasil. Texto Explicativo da Folha SF.23.X-C-VI Lima Duarte (Pinto, C.P. org.) DNPM/CPRM.
- RIBEIRO, L.F.B.; VANDEROOST, F.J.; MONTEIRO, R.C. 1994. O controle neotectônico das cavernas de Itaqueri. XXXVIII Congresso Brasileiro de Geologia p.397-399.
- RODELA, L. G. Relevo do Parque Estadual do Ibitipoca, Sudeste de Minas Gerais. In: Colóquio De Pesquisadores De Turismo, Hospitalidade, Paisagem E Recursos Naturais: Integrando Ideias, 1., 2010, São Paulo. Anais... São Paulo: Universidade Nove de Julho, 2010, p. 225-245.
- SCHAFER, C. Relatório integrado do meio físico e zoneamento ambiental: geologia, solos, geomorfologia e espeleologia do Parque Estadual do Ibitipoca – MG. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2006. 105 p. Relatório.
- SILVA, S.M. Carstificação em rochas siliciclásticas: Estudo de caso na Serra do Ibitipoca, Minas Gerais. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais – MG. 142p., 2004.
- TROUW. R; RIBEIRO, A; PACCIULO, F.V.P. 1983. Geologia estrutural dos Grupos São João Del Rey, Carrancas e Andrelândia, Sul de Minas Gerais. Anais da Academia Brasileira de Ciências.55(1): 71-85.
- ZAIDAN, R. T. 2002. Zoneamento de áreas com necessidade de proteção ambiental no Parque Estadual do Ibitipoca – MG. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.