

Aplicação do Sistema de Monitoramento de Dinâmica de Rocha (SMDR) para Controle Geotécnico Contínuo de Caverna Natural Subterrânea no Quadrilátero Ferrífero (MG)

Application of the Rock Dynamics Monitoring System (SMDR) for Geotechnical Control of Underground Natural Cavity in the Quadrilatero Ferrifero (MG)

Adam Barros Fernandes¹ , Hernani Mota de Lima¹ , Raul Fontes Valentim²,
Alexandre Assunção Gontijo³, Leandro Roque da Fonseca³,
Fernando Santos Seabra Cardoso⁴ & Gabrieli Santos Boulhosa⁵ 

¹Universidade Federal de Ouro Preto, Núcleo de Geotecnia da Escola de Minas, Ouro Preto, MG, Brasil.

²VALE SA - Espeleologia, Mina de Águas Claras, Nova Lima, MG, Brasil

³MecRoc Engenharia Ltda., Belo Horizonte, MG, Brasil

⁴Spelayon Consultoria EPP, Belo Horizonte, MG, Brasil

⁵Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, SP, Brasil

E-mails: adambarrosgeo@gmail.com; hernani.lima@ufop.br; raul.valentim@vale.com; alexandre.gontijo@mecroc.com.br; leandro.fonseca@mecroc.com.br; fernando.spelayon@gmail.com; gabrieli.boulhosa@gmail.com

Resumo

Nos últimos anos uma série de estudos tem sido conduzida sobre cavernas naturais subterrâneas em formações ferríferas. Esses estudos decorrem da necessidade de se preservar as cavernas naturais e, ao mesmo tempo, viabilizar de forma sustentável, a operação de uma mina de minério de ferro. Isso ocorre pelo fato da legislação ambiental do Brasil estipular, empiricamente, um raio de proteção de 250 m, de forma a evitar dano ambiental irreversível às cavernas, que por sua vez, bloqueia a lavra de considerável fração de minério de ferro. Dessa forma, com o intuito de verificar a influência do desmonte com uso de explosivos na estabilidade física da caverna BRU_0034, nas proximidades da Mina de Brucutu da empresa Vale S.A., foram propostos, por intermédio desse estudo, monitoramentos sismográficos e de deslocamento através do uso do Sistema de Monitoramento de Dinâmica de Rocha (SMDR). No que se refere aos resultados obtidos com o SMDR, foi possível verificar por meio dos dados sismográficos e de deslocamento que não houve uma grande movimentação aparente nos sensores durante o monitoramento de desmontes de rochas por explosivos realizados em distâncias inferiores a 250 m.

Palavras-chave: Espeleologia; Estabilidade; Mineração

Abstract

In recent years a series of studies have been conducted on underground natural cavities in ferriferous formations. These studies stem from the need to preserve the natural cavities and, at the same time, enable sustainably, the operation of an iron ore mine. This occurs from the fact that Brazil's environmental legislation empirically stipulates a protective radius of 250 m, in order to avoid irreversible environmental damage to the caves, which in turn blocks the mining of a considerable fraction of iron ore. Thus, in order to verify the influence of rock blast with the use of explosives on the physical stability of the BRU_0034 cavity, near the Brucutu Mine of Vale S.A., monitoring was proposed through this study seismographic and displacement through the use of the Rock Dynamics Monitoring System (SMDR). Regarding the results obtained with the SMDR, it was possible to verify through the seismographic and displacement data that there was no major apparent movement in the sensors during the monitoring of rock blasting by explosives carried out in distances below 250 m.

Keywords: Speleology; Stability; Mining

1 Introdução

Jazidas minerais são caracterizadas pela sua rigidez locacional, ou seja, só é possível minerar onde existe minério e isso diferencia a mineração das demais atividades industriais. O aproveitamento econômico dos recursos minerais acarreta alterações do meio socioeconômico e ambiental, seja de forma positiva ou negativa, no território onde se situa uma ou mais minas (Jeber & Profeta 2018). Portanto, as alterações ou impactos adversos nos recursos socioeconômico e ambiental do território devem ser objeto de controle direto, do empreendedor, e indireto, dos órgãos ambientais e das demais partes interessadas.

Uma das alterações do meio que a indústria da mineração pode causar é a modificação na estabilidade física que inclui, em alguns casos, a supressão de cavidades naturais subterrâneas, objeto deste artigo.

Cavidades naturais são classificadas quanto ao grau de relevância em máxima, alta, média ou baixa, em função dos atributos ecológicos, biológicos, geológicos, hidrológicos, paleontológicos, cênicos, histórico-culturais e socioeconômicos, avaliados sob o enfoque regional e local (Decreto Nº 6.640/2008).

A mina de Brucutu, segunda maior mina de ferro do Brasil, possui capacidade instalada de 29 milhões de toneladas/ano, está situada na porção nordeste do Quadrilátero Ferrífero (QFe), na extremidade oriental do segmento nordeste (NE) do Sinclinal Gandarela (Bizzi et al. 2003; Caxito & Dias 2018). Na região da mina há uma vasta ocorrência de cavidades naturais subterrâneas em litologias ferríferas retratadas em publicações objeto de pesquisas acadêmicas e relatórios técnicos da empresa Vale S.A.

Conforme decretado pelo Presidente da República e definido pelo art. 1º, § Único do Decreto nº 6.640/2008 (Brasil 2008), que dispõe sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional, temos que: *“Entende-se por cavidade natural subterrânea todo e qualquer espaço subterrâneo acessível pelo ser humano, com ou sem abertura identificada, popularmente conhecido como caverna, gruta, lapa, toca, abismo, furna ou buraco, incluindo seu ambiente, conteúdo mineral e hídrico, a fauna e a flora ali encontrados e o corpo rochoso onde os mesmos se inserem, desde que tenham sido formados por processos naturais, independentemente de suas dimensões ou tipo de rocha encaixante.”*

Nesse contexto encontra-se a cavidade BRU_0034, situada próxima à mina de Brucutu, foco deste estudo e alvo das análises sismográficas e de deslocamento. Esse artigo trata da sismografia aplicada ao estudo da integridade física de cavidades em litologias ferríferas, utilizando o Sistema de Monitoramento de Dinâmica de Rocha (SMDR)

Vale destacar que assim como os trabalhos desenvolvidos por Pereira (2018) e Rafael (2019), o presente estudo visa entender sobre o comportamento geomecânico de cavidades frente aos desmontes com uso de explosivos utilizados em atividades de mineração, através da aplicação de dados sismográficos do interior dessas cavernas. Dessa forma, tendo o intuito principal de conciliar de forma harmônica o desenvolvimento das atividades mineiras com a preservação do patrimônio espeleológico nacional. Porém, diferente dos trabalhos supracitados, a presente pesquisa é uma das pioneiras a utilizar o SMDR para monitoramento sismográfico de cavernas em litologias ferríferas.

2 Materiais e Métodos

A jazida de minério de ferro de Brucutu integra o Complexo Minas Centrais da Vale S.A., situado na região nordeste do Quadrilátero Ferrífero, parte central de Minas Gerais. Localiza-se a sudoeste da sede do município de São Gonçalo do Rio Abaixo, coordenadas geográficas 19°51'33.2”Sul e 43°22'33.3” Oeste. O acesso à mina é realizado a partir de São Gonçalo do Rio Abaixo, seguindo-se pela MG-129, com destino ao município de Barão de Cocais, direção sul, por aproximadamente 10 km, até a entrada da mina (Figura 1).

Este estudo compreendeu três etapas principais que teve por início a revisão bibliográfica. A segunda etapa é constituída por trabalho de campo para coleta de dados e a terceira envolveu trabalhos de gabinete para análise dos resultados.

No levantamento bibliográfico buscou-se informações referentes ao estado da arte incluindo a contextualização da área de estudo, as cavidades naturais subterrâneas, a sismografia aplicada ao estudo espeleológico e o Sistema de Monitoramento de Dinâmica de Rocha (SMDR).

A contextualização da área de estudo compreende a localização geográfica, os aspectos geológicos, a geomorfologia, a pedologia, assim como vegetação, clima, hidrologia e hidrogeologia.

As cavidades naturais subterrâneas (CNS) são abordadas da forma prevista na legislação brasileira, sendo apresentadas informações como a definição de CNS, as diferenças de cavernas em minério de ferro, a formação das feições no carste e em terreno laterítico e caracterização da cavidade BRU_0034.

Na sismografia aplicada ao estudo espeleológico considerou-se três fatores principais: 1 - Fonte Emissora de Vibração; 2 - Propagação das Ondas Sísmicas pelo Terreno; 3 - Alvo Receptor de Vibração (Caverna). Esse contexto possibilitou um embasamento conceitual sobre a influência do desmonte de rochas com o uso de explosivos na estabilidade física da cavidade.

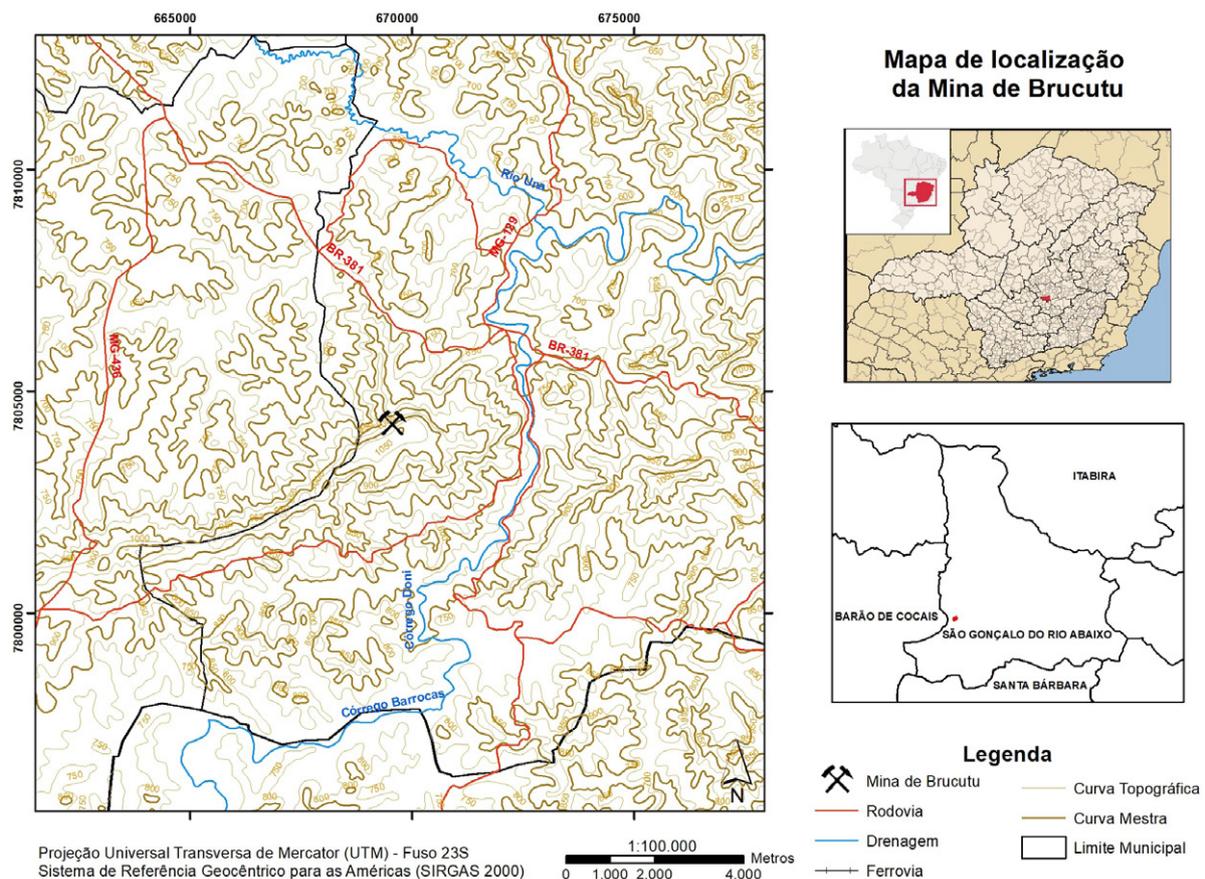


Figura 1 Mapa de localização e vias de acesso da Mina de Brucutu.

Fonte de dados: Plataforma IDE-Sisema (Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos 2019) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2019).

O tópico que trata do SMDR teve por objetivo levantar as características do equipamento e suas principais aplicações no âmbito da geotecnia.

A segunda etapa compreendeu a realização de monitoramentos contínuos de deslocamento (convergência e divergência) e sismográfico, pela equipe de espeleologia da empresa Vale S.A., no interior da cavidade BRU_0034, entre os dias 25/07/19 e 30/09/19. Desmontes de rocha específicos para esse estudo foram utilizados e os dados coletados foram gerados pelo Sistema de Monitoramento de Dinâmica de Rocha - SMDR.

Foram conduzidos 7 desmontes de rocha com uso de explosivos e os dados coletados por Geofone instalado no interior da cavidade BRU_0034, durante o período supracitado. Os desmontes de rocha foram realizados na cava da mina de Brucutu como etapa da operação de lavra, conforme mostrado pela Figura 2.

Os sensores de vibração e de distância foram instalados na canga por se tratar do material objeto de monitoramento da movimentação e teve por finalidade correlacionar a intensidade das vibrações com a relação da movimentação/deslocamento do maciço (Figura 3).

Para atendimento das necessidades do monitoramento geotécnico de cavidades naturais foram obtidos registros de velocidade de partícula, frequência de vibração das ondas e variação de deslocamento entre dois pontos dentro da caverna de 30 em 30 minutos. Os dados gerados do monitoramento foram usados com base para avaliar se o desmonte de rochas com explosivos causa impactos significativos na estrutura física da cavidade.

Após a obtenção dos parâmetros sismográficos e de deslocamento, a terceira etapa envolveu a compilação, tratamento e análise dos dados gerados. Foram analisados e interpretados os dados da cavidade natural subterrânea

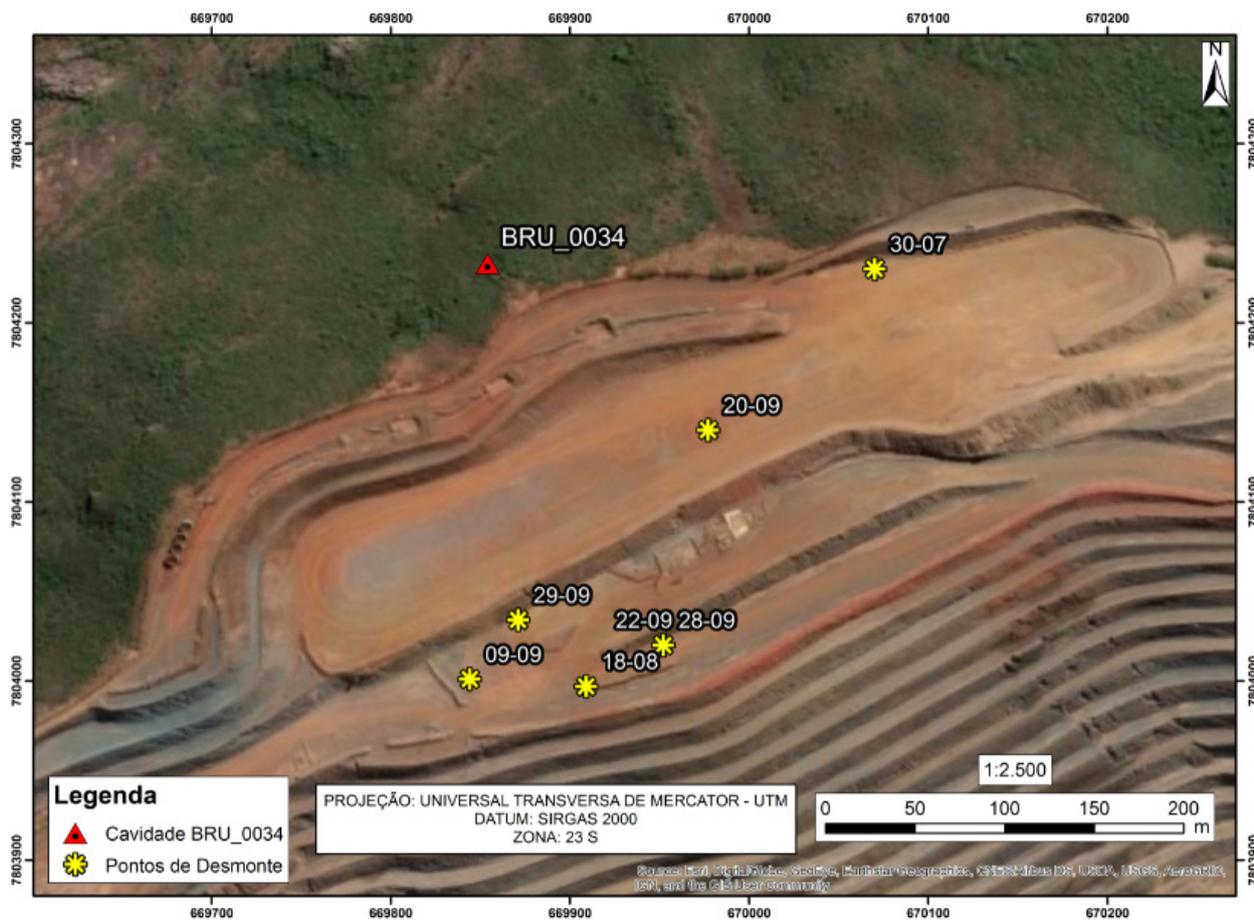


Figura 2 Mapa de localização contendo a cavidade BRU_0034 e os locais das detonações.

Fonte de dados: Vale S.A. (2019) e United States Geological Survey (2019).

estudada, utilizando o *software* Microsoft Excel e o *software* do próprio SMDR.

Consequentemente, após a análise e interpretação dos dados, foi possível determinar o modo com que o desmonte com uso de explosivos influencia na estabilidade física da cavidade natural subterrânea estudada (BRU_0034).

3 Caracterização Geológica

Do relatório técnico produzido pelo Departamento de Ferrosos Sudeste do Complexo Minas Centrais da empresa Vale S.A. em 2016, denominado “Estudos de Perímetro de Proteção para Cinco Cavidades Naturais Subterrâneas da Mina de Brucutu Projeto Cava da Divisa”, foram compiladas as informações sobre a litoestratigrafia da mina de Brucutu (Figura 4):

- A) Grupo Diamantina (Formação Cambotas);
- B) Grupo Itabira (Formação Gandarela e Formação Cauê);

- C) Grupo Caraça (Formação Batatal e Formação Moeda);
- D) Grupo Nova Lima (unidades Córrego do Sítio, Mindá e Morro Vermelho);
- E) Complexo Belo Horizonte;
- F) Diques/*stocks* e *sills* de gabro e gabro pórfiro.

As rochas pertencentes à Formação Cambotas (Grupo Conselheiro Mata), compostas por quartzito e quartzito sericítico, ocorrem em uma estreita faixa a Norte da área da cava, por baixo da Unidade Morro Vermelho (Grupo Nova Lima).

Os xistos e quartzo-mica xistos, quartzitos e filitos que compõem a Unidade Morro Vermelho ocorrem também em uma estreita faixa entre as rochas da Formação Cambotas e a Formação Cauê. O contato com a Formação Cambotas se dá por falha de empurrão.



Figura 3 Instalação do Geofone no teto e do Sensor Óptico de Distância na parede da cavidade BRU_0034.

Fonte: Vale S.A. (2019).

Na porção Sul da Serra do Machado ocorrem rochas pertencentes aos grupos Itabira e Caraça, constituídos por filitos e itabiritos dolomíticos da Formação Gandarela; itabiritos (compactos e friáveis) e hematitas compactas da Formação Cauê; filitos da Formação Batatal e por quartzitos da Formação Moeda.

Ao norte da área da cava da mina Brucutu as rochas que compõem o Complexo Belo Horizonte ocupam uma extensa área. Esta unidade é composta por gnaiss-granítico, granito, biotita gnaiss, biotita-hornblenda gnaiss, migmatito e pegmatito. Endo, Oliveira & Peres (2004) definem duas unidades distintas para o Complexo Belo Horizonte nesta área, o Gnaiss Piedade e o Gnaiss Cocais.

Além disso, em uma pequena área na extremidade leste ocorre, ainda, o gnaiss Santa Bárbara.

Na região a sul da área da mina ocorrem xistos pertencentes ao Grupo Nova Lima, em geral, em avançado estado de alteração intempérica. Por fim, vários diques, *stocks* e *sills* de gabro e gabro pórfiro ocorrem tanto a norte quanto a sul da área.

Em toda a área há um forte controle litoestrutural definindo a dissecação da paisagem que ocorre em quase sua totalidade no sentido Leste – Oeste. Neste caso, a maioria dos vales apresenta-se encaixados e profundos (a diferença de nível entre os topos do morro e o talvegue é bem expressiva, especialmente na parte nordeste).

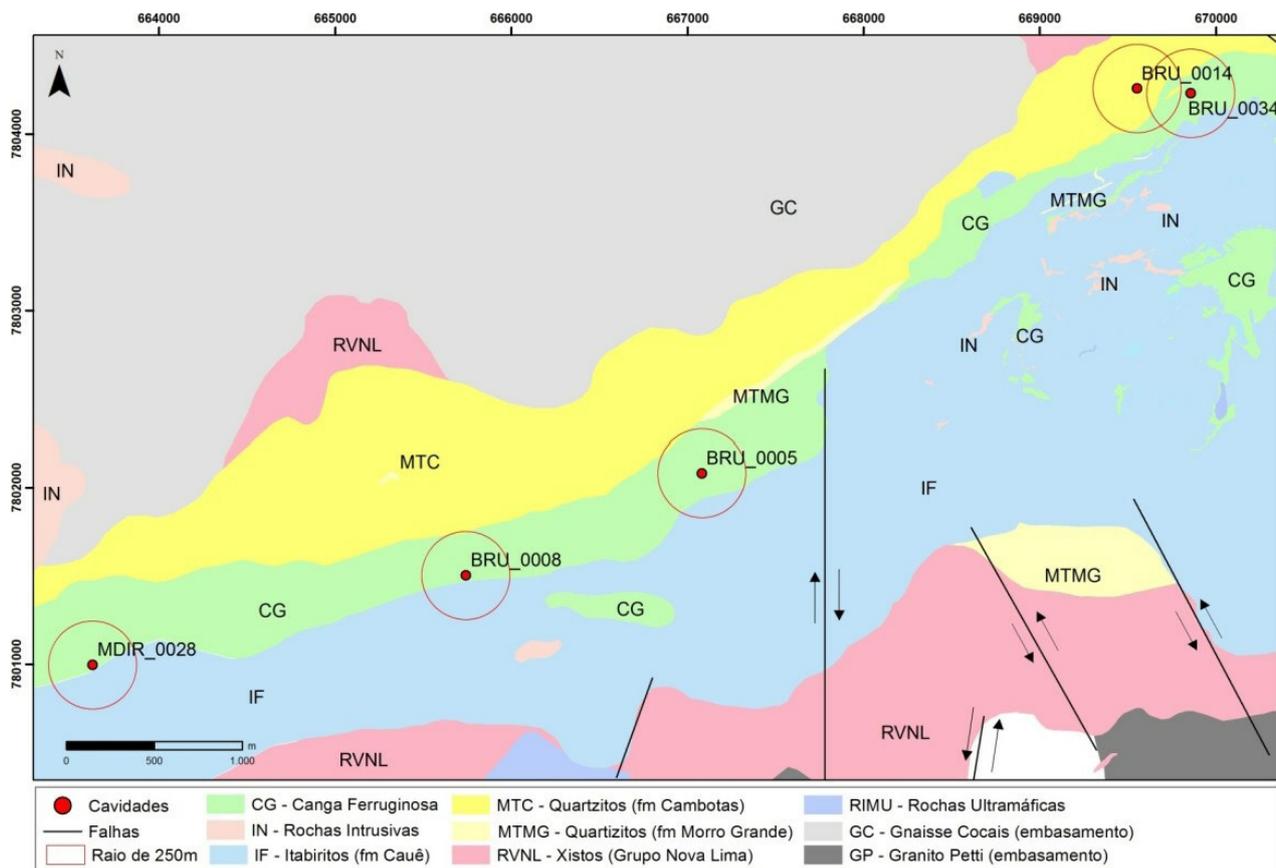


Figura 4 Mapa Geológico com a localização das cavidades nas proximidades da mina de Brucutu, com destaque para a BRU_0034 (extremo nordeste do mapa).

Fonte: Vale S.A. (2016).

4 Resultados

Com base nos dados fornecidos pela empresa Vale S.A., foi possível obter todos os eventos de detonação (fogos) na mina de Brucutu captados de 29/07/2019 a 26/09/2019 pelo SMDR na cavidade BRU_0034, representados na Tabela 1. A Tabela 1 inclui o número do fogo (desmonte), as coordenadas dos pontos de desmonte em UTM (E e N) - *datum* SIRGAS2000, zona 23K, a data e hora do evento captado no sismógrafo e a distância horizontal entre a cavidade e o ponto mais próximo da detonação (D). Ademais, tem-se a VR (Velocidade de vibração de partícula resultante de pico), a VVP (Velocidade de Vibração de Partícula de Pico) nas componentes longitudinal, transversal e vertical e a Frequência da onda nas componentes longitudinal, transversal e vertical.

Além disso, foram coletados com o SMDR dados de convergência (deslocamento), entre os dias 25/07/19 e 30/09/19, em três momentos distintos. Esse dados estão separados em 3 gráficos, mostrados nas Figuras 5, 6 e 7, que tratam dos resultados de convergência no período em análise.

Durante o período de 25/07/19 a 27/08/19 (Tabela 1), foram realizadas duas detonações com uso de explosivos nas proximidades da cavidade BRU_0034 (fogo n° 30-07 e fogo n° 18-08).

Durante o período de 27/08/19 a 19/09/19, conforme visto na Tabela 1, foram realizadas duas detonações com uso de explosivos nas proximidades da cavidade BRU_0034 (fogo n° 09-09 e fogo n° 20-09).

Durante o período de 19/09/19 a 30/09/19, conforme visto na Tabela 1, foram realizadas três detonações com uso de explosivos nas proximidades da cavidade BRU_0034 (fogo n° 22-09, fogo n° 28-09 e fogo n° 29-09).

Tabela 1 Descrição resumida dos pontos de detonação captados pelo SMDR

N° DO FOGO	E	N	DATA	HORA	D (m)	VR (mm/s)	VVP (mm/s)			Frequência (Hz)		
							Long.	Trans.	Vert.	Long.	Trans.	Vert.
30-07	670070	7804230	29/07/19	16:08:16	216	13,77	7,25	8,23	13,07	4	4	5
18-08	669909	7803997	23/08/19	13:05:57	242	9,93	4,82	5,17	8,17	16	13	14
09-09	669844	7804001	07/09/19	10:59:30	232	10,84	5,98	5,55	9,78	12	13	11
20-09	669977	7804140	17/09/19	13:00:56	154	15,32	8,49	7,93	13,42	4	3	12
22-09	669952	7804020	20/09/19	13:18:56	234	12,40	4,96	6,89	12,00	4	9	14
28-09	669952	7804020	25/09/19	13:01:56	234	14,32	12,38	9,72	12,47	5	5	5
29-09	669871	7804034	26/09/19	13:04:50	200	13,21	11,47	10,25	10,25	4	3	4

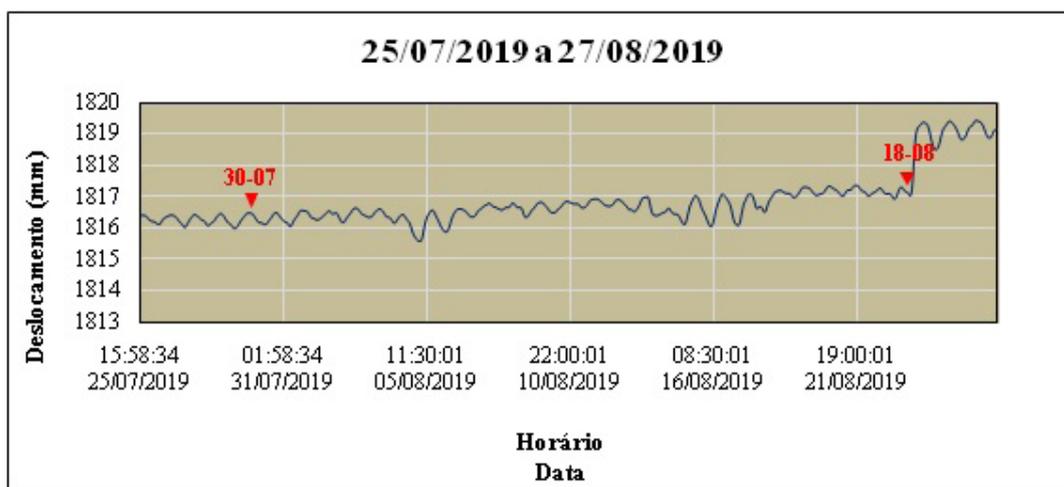


Figura 5 Resultados absolutos de deslocamento obtidos pelo sensor ótico no período de 25/07/2019 a 27/08/2019 na cavidade BRU_0034, com indicação das duas detonações realizadas nos dias 29/07/2019 (30-07) e 23/08/2019 (18-08) na mina de Brucutu.

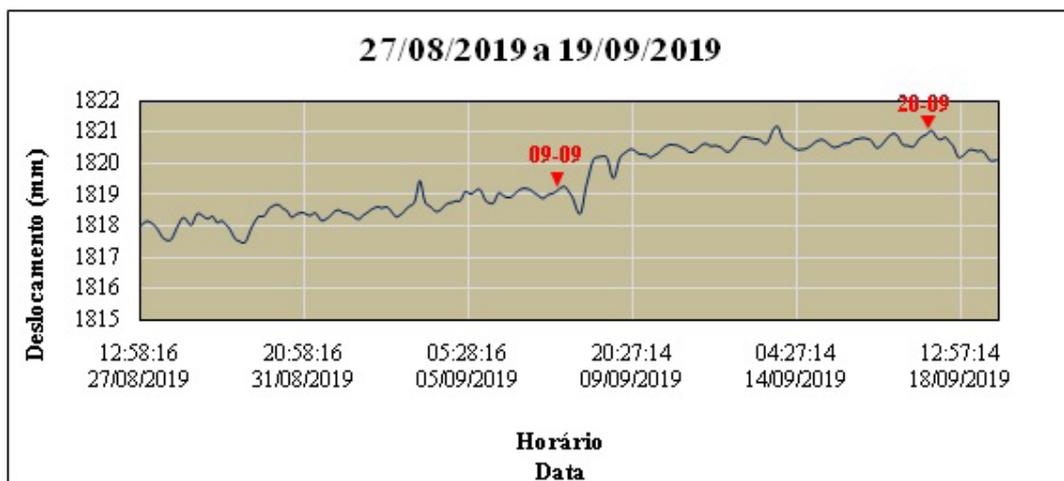


Figura 6 Resultados absolutos de deslocamento obtidos pelo sensor ótico no período de 27/08/2019 a 19/09/2019 na cavidade BRU_0034, com indicação das duas detonações realizadas nos dias 07/09/2019 (09-09) e 17/09/2019 (20-09), na mina de Brucutu.

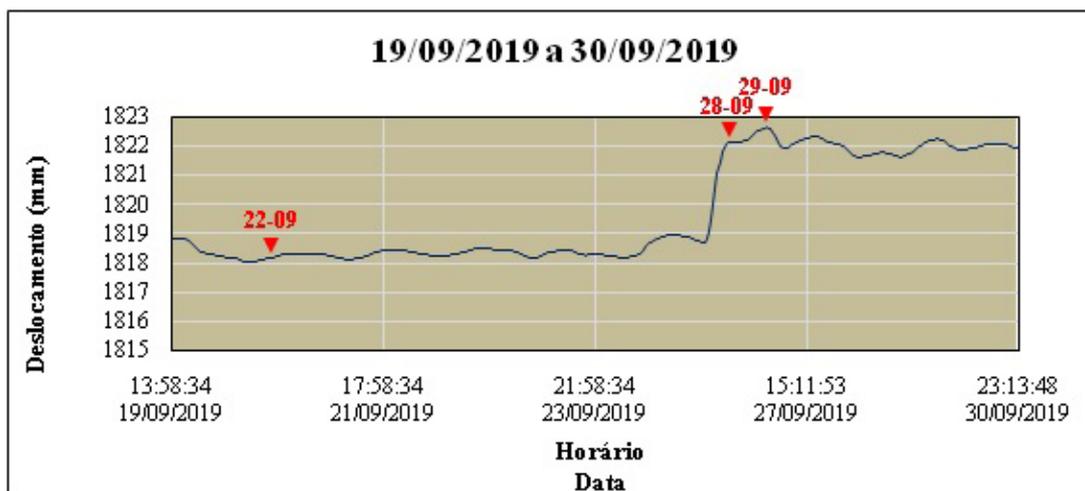


Figura 7 Resultados absolutos de deslocamento obtidos pelo sensor ótico no período de 19/09/2019 a 30/09/2019 na cavidade BRU_0034, com indicação das três detonações realizadas nos dias 20/09/2019 (22-09), 25/09/2019 (28-09) e 26/09/2019 (29-09), na mina de Brucutu.

5 Discussão

Imediatamente após fogos nº 30-07 e 18-08 não foram identificados grandes deslocamentos, apenas sinais cíclicos, de baixa amplitude, conforme mostrados na Figura 5 e retratados por Gontijo (2017). Porém, do horário de 22:00:01 do dia 23/08/19 até o horário de 16:26:28 do dia 24/08/19, foi captada uma divergência (“pico”) de aproximadamente 2,5 mm de variação.

Após os fogos nº 09-09 e 20-09 não foram identificados grandes deslocamentos, apenas sinais cíclicos de baixa amplitude, conforme mostrados na Figura 6 e retratados por Gontijo (2017). Porém, no horário de 22:58:16 do dia 03/09/19 foi captado uma divergência (“pico”) de aproximadamente 1 mm de variação. Além disso, no horário de 06:58:16 do dia 08/09/19, houve uma convergência inicial (“vale”) em torno de 1 mm de variação, seguida de uma divergência de cerca de 2 mm de variação até o horário de 21:01:46 do dia 08/09/19.

Em sequência os fogos nº 22-09, 28-09 e 29-09 não foram identificados grandes deslocamentos, apenas sinais cíclicos de baixa amplitude, conforme mostrados na Figura 7 e retratados por Gontijo (2017). Porém, do horário de 03:28:34 do dia 25/09/19 até o horário de 11:16:17 do dia 26/09/19, foi captada uma divergência (“pico”) de aproximadamente 4 mm.

6 Conclusões

No que se refere à análise geral dos dados de deslocamento (convergência ou divergência), pode-se

concluir que não existe uma grande movimentação aparente nos sensores provocados pelo desmonte com explosivos no período de monitoramento. Observam-se nos gráficos desvios máximos de deslocamento no sensor, menores que 1,0 mm, e que não existe uma tendência aparente que possa indicar a ocorrência de uma movimentação que seja correlacionada com as detonações realizadas na mina de Brucutu. Esse sinal cíclico, de baixa amplitude, verificado em todos os gráficos, pode ser relacionado a ruídos do sensor ótico e a variação de temperatura no interior da cavidade. Já com relação aos locais com alta amplitude nos gráficos (grandes “picos” e “vales”), eles foram correlacionados com “quedas” no fornecimento de energia ao equipamento ou até mesmo com a paralisação do SMDR no momento de descarregamento dos dados. Vale destacar que essa alta amplitude é causada, quando o sistema retorna após alguma paralisação (falta de energia ou descarregamento de informações), pois, o *laser* do sensor ótico não consegue encontrar a mesma referência que ele estava se baseando anteriormente. Então, por isso ele retorna com uma nova referência. Isso pode ser comprovado quando é verificada a ausência na aferição da tensão do equipamento, no *software* do SMDR, no momento exato dessas grandes oscilações.

Dessa forma, durante o período de monitoramento de vibrações e deslocamentos entre 25/07/19 e 30/09/19, foi possível concluir que todas as intervenções realizadas dentro dos 250 m da área de influência da cavidade não foram suficientes para causar algum impacto físico na mesma. Logo, através do presente estudo foi possível mostrar que é admissível intervir dentro do raio de 250 m de uma caverna sem causar impactos significativos nela.

Além disso, a utilização do SMDR se mostrou muito útil para o monitoramento geotécnico contínuo de uma cavidade natural subterrânea, visando à preservação da integridade física da mesma por intermédio da análise de vibrações e deslocamentos.

7 Agradecimentos

À empresa Vale S.A. e ao Núcleo de Geotecnia (NUGEO) da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), por tornarem possível a realização dessa pesquisa e pelo investimento em pesquisa e inovação no âmbito do estudo de cavidades naturais subterrâneas.

8 Referências

- Bizzi, L.A.; Schobbenhaus, C.; Vidotti, R.M. & Gonçalves, J.H. 2003, *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil*, CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Brasília.
- Brasil 2008, 'Decreto 6.640/2008, 7 de novembro de 2008', dá nova redação aos arts. 1º, 2º, 3º, 4º e 5º e acrescenta os arts. 5-A e 5-B ao Decreto nº 99.556, de 1 de outubro de 1990, que dispõe sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional, Brasília.
- Caxito, F.A. & Dias, T.G. 2018, 'Ferro' in A.C. Pedrosa-Soares; E. Voll & E.C. Cunha (eds), *Recursos Minerais de Minas Gerais On Line: síntese do conhecimento sobre as riquezas minerais, história geológica, meio ambiente e mineração de Minas Gerais*, 1st edn, Belo Horizonte: Companhia de Desenvolvimento de Minas Gerais (CODEMGE), pp. 1-34, acesso em 04 mar. 2019, <<http://recursomineralmg.codemge.com.br/wp-content/uploads/2018/10/Ferro.pdf>>.
- Endo I., Oliveira A.H. & Peres G.G. 2004, *Estratigrafia e Arcabouço estrutural da região da junção serra do curral - Sinclinal da Moeda, Quadrilátero Ferrífero*, Relatório Interno – Convênio UFOP - Vale S.A.
- Gontijo, A. 2017, 'Proposta e desenvolvimento de um sistema de monitoramento contínuo de convergência em ambientes subterrâneos', Dissertação de Mestrado, Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística 2019, *Downloads Geociências*, acesso em 13 mai. 2019, <<https://downloads.ibge.gov.br/>>.
- Jeber, A. & Profeta, A.L. 2018, 'Meio Ambiente e Mineração' in A.C. Pedrosa-Soares; E. Voll & E.C. Cunha (eds), *Recursos Minerais de Minas Gerais On Line: síntese do conhecimento sobre as riquezas minerais, história geológica, meio ambiente e mineração de Minas Gerais*, 1st edn, Belo Horizonte: Companhia de Desenvolvimento de Minas Gerais (CODEMGE), p. 1-67, acesso em 04 mar. 2019, <<http://recursomineralmg.codemge.com.br/wp-content/uploads/2018/10/MAMineracao.pdf>>.
- Pereira, N.G. 2018, 'Análise do posicionamento de equipamentos de sismografia em cavidades naturais subterrâneas', Dissertação de Mestrado, Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto.
- Rafael, M.C.E. 2019, 'Análise estatística multivariada para correlação de variáveis sismográficas e geotécnicas em uma cavidade natural subterrânea – mina de ferro N4EN, Carajás', Dissertação de Mestrado, Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto.
- Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos 2019, *Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos*, acesso em 13 mai. 2019, <<http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/>>.
- United States Geological Survey 2019, *Earth Explorer – Home*, acesso em 11 abr. 2019 <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>.
- VALE S.A. 2016, *Estudos de Perímetro de Proteção para Cinco Cavidades Naturais Subterrâneas da Mina de Brucutu - Projeto Cava da Divisa. Complexo Minas Centrais, Departamento de Ferrosos Sudeste: Relatório Técnico*, Belo Horizonte.
- VALE S.A. 2019, *Fotografias sobre a instalação do Sistema de Monitoramento de Dinâmica de Rocha – SMDR em cavidades naturais subterrâneas situadas nas proximidades de alguns empreendimentos da Vale S.A.*, fornecida pela Vale S.A., Belo Horizonte.

Recebido em: 06/03/2021

Aprovado em: 03/04/2021

Como citar:

Fernandes, A.B., Lima, H.M., Valentim, R.F., Gontijo, A.A., Fonseca, L.R., Cardoso, F.S.S. & Boulhosa, G.S. 2021, 'Sistema de Monitoramento de Dinâmica de Rocha (SMDR) Aplicado ao Controle Geotécnico de uma Cavidade Natural Subterrânea no Município de São Gonçalo do Rio Abaixo – MG', *Anuário do Instituto de Geociências*, vol. 44: 38756. https://doi.org/10.11137/1982-3908_2021_44_38756