

Aplicação de software de perfilagem para o tratamento dos dados geotécnicos obtidos via testemunhos de sondagem em mina subterrânea

Andrade Lima, A. de

Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, Brasil, aarao@dmg.ufcg.edu.br

Sá Alves, C. de

Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, Brasil, carlos@dmg.ufcg.edu.br

Azevedo Cabral, R.

Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil, ricardo.azevedo@poli.usp.br

Souza Silva, R.

Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil, rss@datamine.com.br

Resumo: Neste trabalho são tratados dados da Mina Ipueira 3, pertencente ao Grupo FERBASA, localizada no Município de Andorinha, Estado da Bahia. A mineralização de cromo ocorre em um *sill* máfico-ultramáfico intensamente falhado. Para caracterização geotécnica dos maciços foram medidos os comprimentos de testemunhos em 35 furos, dispostos em 11 seções leste-oeste, totalizando cerca de 3.000 metros de perfuração. Os dados foram digitados em planilha eletrônica, sendo em seguida exportados para o software Downhole Explorer - DHX. As distribuições estatísticas de RQD foram determinadas para cada unidade litológica. Com o uso do DHX foram desenhados gráficos de perfilagem para os furos analisados. As seções geológicas interpretadas pelo setor de geologia da mina foram digitalizadas e superpostas às seções contendo os gráficos com RQD gerados a partir do programa DHX. São propostas medidas para automatização do tratamento dos dados geotécnicos contidos nos testemunhos de sondagem, e para a utilização das informações resultantes no planejamento da estabilidade das aberturas subterrâneas.

Abstract: The data presented in this work is from Ipueira 3 Mine, owned by FERBASA Group. The mine is located in Andorinha County, Bahia State, Brazil. The chromium mineral occurs in a mafic-ultramafic sill intensely faulted. The geotechnical characterization of the rock mass was done by logging cores from 35 drill holes, located in 11 east-west sections, totaling about 3,000 meters of drilling. The data was input into spreadsheet and later exported to Downhole Explorer – DHX software. The statistical distributions of RQD and drill core total recovery were calculated for each lithological unit. Graphical outputs have been generated for the logged drill holes using DHX software. The geologic sections interpreted by the mine geology sector were digitalized and superimposed to the sections with the RQD graphics generated using DHX software. Some measures are proposed regarding the automatic treatment of geotechnical data contained in the drill cores, and regarding the use of the resulting information for planning the stability of the underground openings.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa

A utilização de sondagem rotativa a diamante para definição de reservas minerais é prática comum na mineração. Por outro lado, o emprego dos testemunhos de sondagem para a caracterização geotécnica dos maciços rochosos no entorno das escavações necessita de uma maior difusão, principalmente com a adoção de programas que

facilitam e automatizam o tratamento dos dados nas diversas etapas envolvidas.

O conhecimento antecipado das características geotécnicas do maciço é importante para o planejamento das dimensões e do posicionamento das aberturas de desenvolvimento de cada setor de uma mina. Dentro da rotina de trabalho da mineração subterrânea, esse conhecimento antecipado é possível com a análise dos testemunhos de sondagem obtidos nas atividades da pesquisa mineral.

A estimativa de sistemas de reforço e suporte necessários à estabilidade das escavações pode também ser feita a partir da análise dos testemunhos, sendo refinado o dimensionamento para cada trecho específico do maciço durante a fase de construção das galerias necessárias ao desenvolvimento do corpo de minério.

Outra vantagem importante do uso de testemunhos de sondagem na caracterização geotécnica advém da possibilidade de estudar o maciço em um estado de danos incipiente. Pode-se ressaltar ainda que o RQD obtido a partir de testemunhos de sondagem é mais preciso, e de levantamento mais rápido, que aquele inferido por meio do índice volumétrico de contagem de juntas medido diretamente nas frentes de avanço, conforme procedimentos descritos em Brown (1981), pp. 45-46. A grande disponibilidade de amostras provenientes de variadas porções do maciço que são cruzadas por furos de sonda, torna viável o tratamento estatístico dos dados obtidos por amostragem em testemunhos.

1.2 Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo geral demonstrar a utilidade de planilhas eletrônicas e softwares de perfilagem para o tratamento de dados geotécnicos obtidos a partir de testemunhos de sondagem a diamante. Outro objetivo consiste no desenvolvimento de procedimentos para a coleta e o tratamento informatizado dos dados geotécnicos contidos em testemunhos.

Também, com a presente pesquisa é iniciada a construção de um banco de dados contendo as características geotécnicas das diversas unidades litológicas relevantes à lavra na Mina Ipueira 3.

1.3 Metodologia

Foram adotados os procedimentos recomendados pela Sociedade Internacional de Mecânica de Rochas, conforme Brown (1981), pp. 47-52, para a determinação da recuperação total e do RQD.

Com uma trena foram medidos os pedaços de testemunhos contidos nas caixas previamente armazenadas. As cadernetas com as descrições das amostras preenchidas anteriormente pelo setor de geologia da mina foram usadas para confirmação das unidades litológicas contidas em cada um dos trechos analisados.

As anotações sobre recuperação total e RQD foram feitas com base nos avanços de perfuração para cada manobra de sondagem. Quando mais de uma unidade litológica é cruzada em uma determinada manobra, os comprimentos totais dos testemunhos de cada tipo de rocha são usados para estimar os respectivos comprimentos perfurados. Nesses casos, os comprimentos de perfuração

estimados para cada unidade litológica foram então usados para o cômputo dos respectivos RQD.

As anotações relativas a cada furo foram transferidas para planilhas, onde foi inicialmente verificada a consistência dos dados. Os cálculos necessários à determinação de RQD e de recuperação total foram automatizados dentro das planilhas.

A partir das planilhas os dados foram também reagrupados por unidades litológicas, sendo então calculados valores médios e feitas distribuições de frequência por faixas de RQD e de recuperação total.

Os dados das planilhas foram também transformados em arquivos de tipo texto com separação por colunas, os quais foram importados pelo programa Downhole Explorer – DHX, Earthworks Corporation (2002).

A partir do programa DHX foram criadas saídas gráficas com representação de RQD e de recuperação total para cada furo. Foram gerados gráficos de RQD com o posicionamento dos furos nas seções geológicas analisadas nesta pesquisa.

1.4 Abrangência

Por limitação de espaço, os resultados aqui apresentados estão restritos aos parâmetros RQD e recuperação total.

Foram realizados ensaios de compressão e classificação geomecânica usando o sistema Q, Barton (1974), para as diversas unidades litológicas pertinentes, sendo esses resultados apresentados em Alves (2005).

2 CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DA MINA IPUEIRA 3

A Mina Ipueira está localizada na porção norte-nordeste do Estado da Bahia, no Município de Andorinha, no distrito cromitífero do Vale do Jacurici.

A mineralização de cromo ocorre em um corpo tabular de cromitito com espessura variando de 6 a 8 metros. O minério está no interior de um *sill* de rochas básicas e ultrabásicas com *trend* norte-sul, cuja espessura situa-se em torno de 130 metros (Marinho *et al.*, 1986). O *sill* está posicionado entre mármore, no topo, e granulitos, na base. Na região da mina em estudo essa seqüência estratigráfica está invertida, com os mármore posicionados na base e granulitos no topo.

Conforme Mello *et al.* (1986), do topo para a base, o posicionamento estratigráfico das unidades litológicas que compõem o *sill* máfico-ultramáfico em Ipueira é o seguinte: plagioclásio-ortopiroxênio cumulato (0-50m); ortopiroxênio cumulato (2m); ortopiroxênio-olivina-espínolito cumulato (33m); cromita cumulato (6-7m); e olivina-ortopiroxênio-

espinélio cumulato (60m). Em geral essas rochas encontram-se alteradas para serpentinitos.

Um complexo sistema de falhas cruza todas as unidades litológicas (Marinho *et al.*, 1986 e Mello *et*

al., 1986), formando blocos com tamanhos que variam normalmente de 2 a 10 metros.

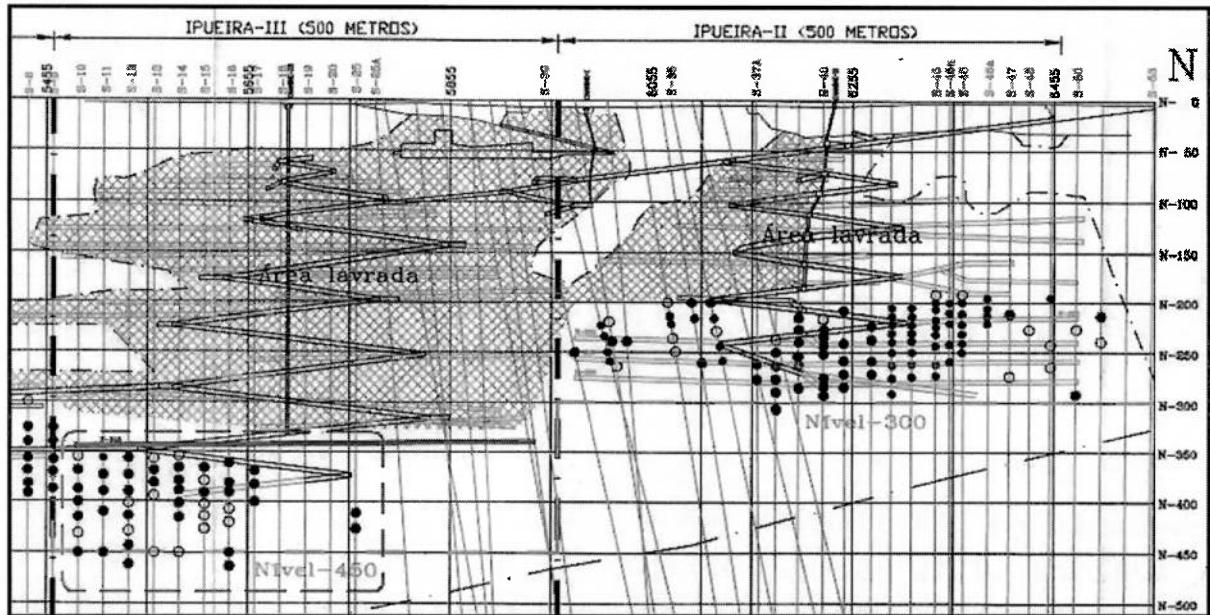


Figura 1: Perfil longitudinal das minas Ipueira 2 e 3.

A Mina Ipueira está dividida nas três unidades operacionais: minas Ipueira 2, 3 e 4. As minas tem uma extensão longitudinal de 500 metros no sentido norte-sul, conforme mostrado na Figura 1. O acesso é feito por uma rampa principal com declive de 12,5%, que emboca em Ipueira 2, mais a norte, e vai até Ipueira 4, ao sul. Cada mina possui uma rampa principal que dá acesso aos diversos níveis em que ocorre mineralização. O acesso aos painéis de lavra em cada nível é feito por rampas de acesso, abertas transversalmente no sentido oeste-leste.

A profundidade das operações atuais de lavra varia de 200 metros em Ipueira 2, até 400 metros em Ipueira 3.

O método de lavra adotado é *sublevel caving* longitudinal, com a lavra ocorrendo em recuo a partir das extremidades dos painéis, em direção às rampas de acesso aos níveis. Nos setores em que o corpo apresenta mergulho forte é comum ocorrer comunicação com realces lavrados em níveis superiores.

A pesquisa para detalhamento dos corpos minerais nos níveis inferiores é feita por meio de sondagem a diamante, executada a partir de galerias de pesquisa posicionadas a leste dos níveis a serem pesquisados. O diâmetro das coroas adiamantadas mais usual é BQ (diâmetros dos testemunhos 36,5 mm), sendo usados também os diâmetros NQ (47,6 mm) e NW (54,7mm).

3 CARACTERÍSTICAS DO SETOR ESTUDADO

Foi selecionado para este estudo um setor da Mina Ipueira 3 que foi pesquisado por meio de sondagens executadas partindo da galeria de pesquisa GP 345, conforme assinalado na Figura 1.

O setor está localizado entre as seções 10 e 25, compreendendo 375 metros ao longo da direção norte-sul.

Para o estudo foram selecionados 35 furos, dispostos em 11 seções, totalizando cerca de 3.000 metros de perfuração. A metragem usada no presente estudo corresponde mais ou menos à metade do total perfurado a partir da galeria GP 345. Na Figura 2 é mostrada uma vista tridimensional dos furos, gerada usando o programa DHX.

Estando a galeria GP 345 posicionada no interior do *sill* máfico-ultramáfico, o qual mergulha localmente de 30 a 60° para leste, as seguintes unidades litológicas são tipicamente cruzadas pelos furos de sonda: olivina-ortopiroxênio cumulato; cromita cumulato; ortopiroxênio-olivina cumulato; e plagioclásio-ortopiroxênio-cumulato. Estão presentes também numerosos veios de pegmatitos ácidos, às vezes alterados; bem como zonas de falha nas quais as rochas encontram-se trituradas e alteradas.

Na Figura 3 é mostrada uma das seções geológicas digitalizadas a partir de seções interpretadas pelo setor de geologia da FERBASA, Carvalho (2004). Na Figura 3 constam apenas os três furos de sonda da seção 12 que foram analisados neste trabalho.

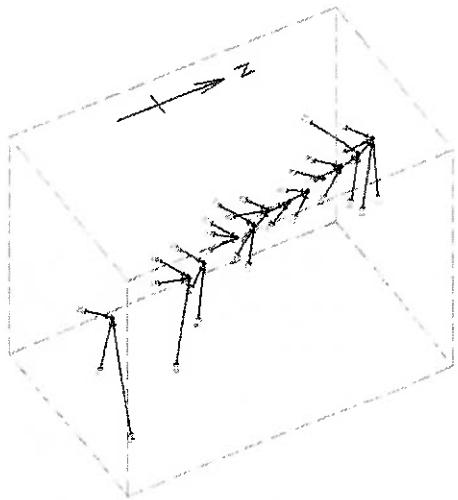


Figura 2: Vista tridimensional dos furos de sonda analisados na pesquisa.

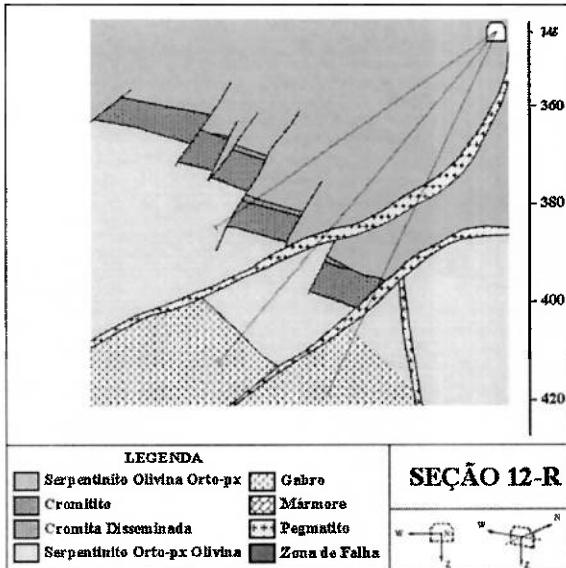


Figura 3: Seção geológica 12.

4 TRATAMENTO DOS DADOS DE RQD E DE RECUPERAÇÃO TOTAL

4.1 RQD e Recuperação Total Agrupados por Furo

Para cada furo de sondagem foi elaborada uma planilha contendo identificação e características do furo, intervalos perfurados, identificação litológica, descrição litológica, cálculo de RQD e de recuperação total.

Os dados das planilhas foram então transformados em arquivos de texto com colunas fixas, os quais foram importados pelo programa Downhole Explorer – DHX.

No programa DHX foram gerados perfis com representação gráfica de RQD e recuperação total para todos os furos, conforme apresentado em Alves (2005). O perfil para um desses furos é mostrado na Figura 4.

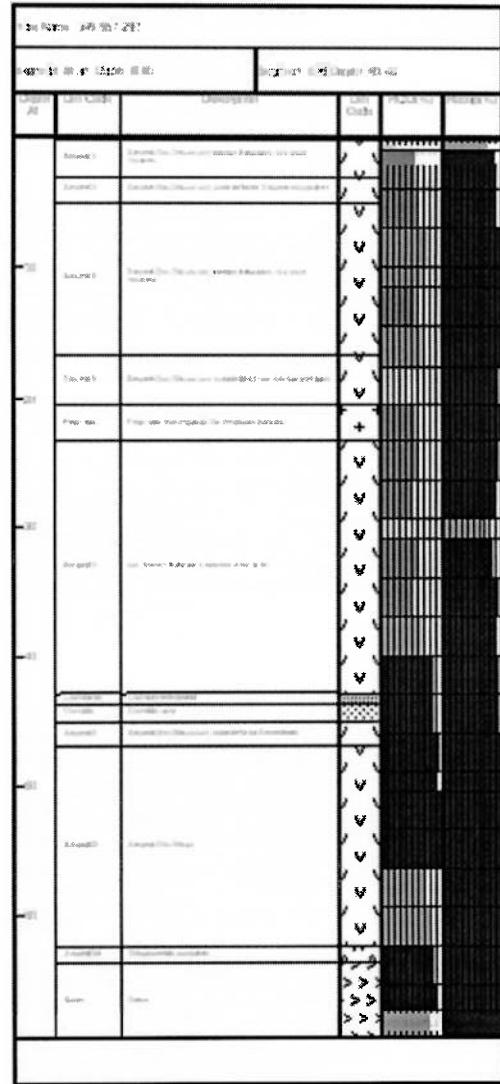


Figura 4: Perfil de um furo gerado com o programa DHX.

4.2 Estatística de RQD e de Recuperação Total por Unidades Litológicas

Os dados contidos nas planilhas referentes a cada um dos furos foram reagrupados por unidades litológicas. Para cada tipo litológico foram então calculadas as médias dos RQD, conforme é mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Médias de RQD para cada unidade litológica

Unidade litológica	Perfurado (m)	RQD (%)
Serpentinito olivina	1.883,6	65,7
Serpentinito ortopiroxênio	246,1	75,3
Gabro	301,5	62,2
Cromitito	257,9	55,5

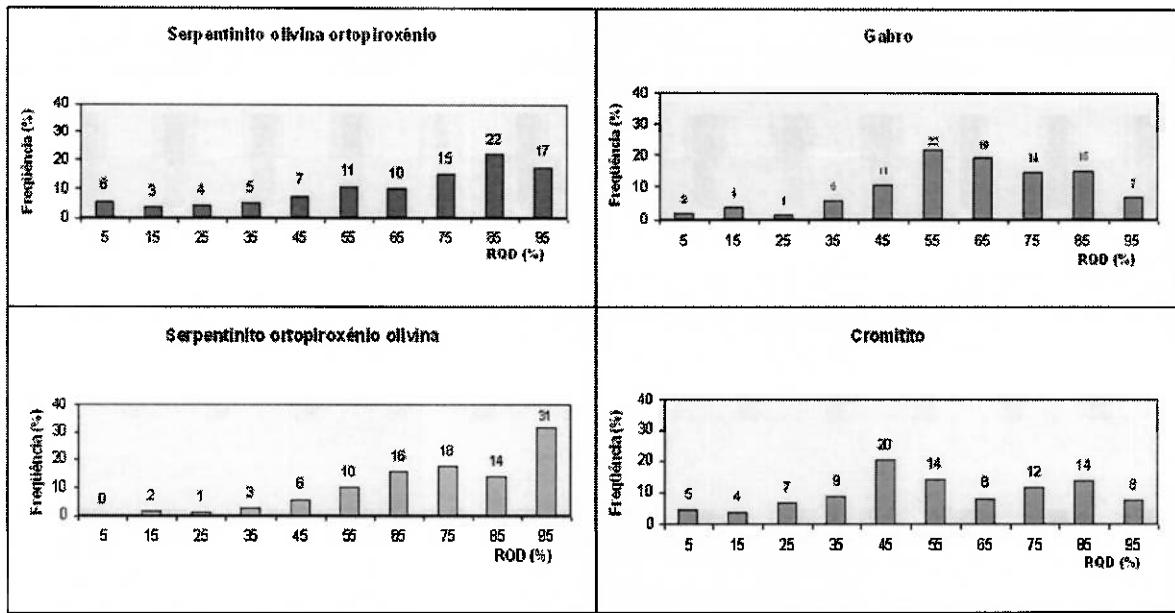


Figura 5: Distribuições de RQD por litologias.

Com o uso de planilha eletrônica foram também elaboradas as distribuições de freqüência com intervalos de 10% para RQD, cujas representações gráficas encontram-se na Figura 5.

Observam-se distribuições bi modais para RQD em todas as unidades litológicas, sendo esse fato possivelmente atribuído ao caráter direcional do RQD, acoplado às inclinações variáveis com que os furos cruzam as rochas. A interpretação definitiva do fenômeno e constatação de sua persistência será possível com o acúmulo de uma maior quantidade de informações.

4.3 Superposição entre Gráficos de RQD e Seções Geológicas

Visando estabelecer uma correlação visual entre RQD e os tipos litológicos, foram elaboradas seções compostas, combinando as versões digitais dos mapas produzidos pelo setor de geologia da FERBASA com as saídas do programa DHX. Esses desenhos compostos foram obtidos para todas as seções por colagem direta, com a função transparência ativada no software de desenho com o formato *bitmap*, Alves (2005). Na Figura 6 são mostradas as seções 11 e 14 em que estão combinados tipo litológico e RQD.

O procedimento descrito acima para produção desse tipo de seção poderá ser totalmente automatizado no futuro, quando a interpretação geológica passar a ser feita de forma digital, usando um programa com características similares ao DHX.

Seções que incorporam tipos litológicos e características geotécnicas podem ser utilizadas para estimativa prévia da estabilidade das aberturas de desenvolvimento dos painéis de lavra.

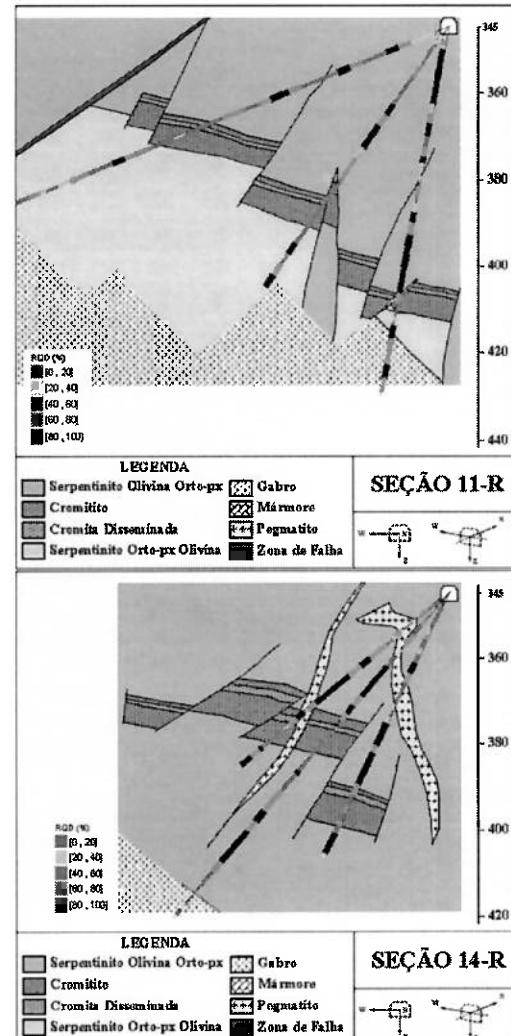


Figura 6: Seções geológicas e RQD superpostos.

5 CONCLUSÕES E PROPOSTAS

Na pesquisa geológica em minas subterrâneas que operam em ambientes geologicamente complexos necessita-se de sondagem a diamante com malha densa. Os testemunhos recuperados são geralmente pouco utilizados para fins de caracterização geotécnica. O fator mais relevante para o uso limitado desse recurso é a necessidade de trabalho intensivo por pessoal qualificado no tratamento dos dados contidos nos testemunhos de sondagem.

A utilização de softwares de aplicação geral, da classe planilhas ou bancos de dados, representa um passo inicial na automatização do tratamento dos dados geotécnicos que são disponibilizados por sondagem. A exportação dos dados dos programas de aplicação geral para os softwares de perfilagem avança na automatização desse processo.

Para aumentar a produtividade do pessoal técnico, é recomendado que a coleta dos dados geotécnicos seja efetuada concorrentemente à descrição geológica dos testemunhos, devendo ser esses dados digitados de imediato. Em uma fase posterior de implantação dessa metodologia de trabalho, é também recomendado que as seções geológicas sejam criadas em forma digital, para facilitar a integração com programas de geração de modelos de blocos e de planejamento da lavra.

Outro aprimoramento possível consiste na incorporação ao banco de dados dos seguintes índices geotécnicos: índice de impacto (Schmidt hammer); índice de carga pontual; resistência à compressão; e índice de qualidade do maciço com a classificação segundo Barton *et al.* (1974).

Finalmente é sugerido que os índices geotécnicos determinados ao longo dos furos de sonda sejam interpolados para os domínios completos das seções, possibilitando a definição antecipada dos sistemas de reforço e suporte, bem como a incorporação de restrições de natureza geotécnica no planejamento dos painéis de lavra.

6 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Diretoria de Mineração da Cia. de Ferro Ligas da Bahia - FERBASA pela disponibilidade de dados e pelo apoio às atividades de campo necessárias ao desenvolvimento desta pesquisa.

Carlos de Sá Alves agradece à Coordenação de Pessoal de Ensino Superior - CAPES, pela concessão de bolsa de estudos para realização de mestrado em engenharia de minas na Universidade Federal de Campina Grande.

Os autores agradecem à Datamine Latin América pela concessão de uma licença temporária do software Downhole Explorer, o qual foi intensivamente usado na pesquisa.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, C.S. (2005) Caracterização do Maciço Rochoso com o Uso de Testemunhos de Sondagem na Mina Ipueira 3, Andorinha – Bahia, Dissertação de Mestrado, Curso de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, (em preparação).
- Barton, N., Lien, R. and Lunde J. (1974) Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mechanics*, 6, 189-236.
- Brown, E.T., ed. (1981) *Rock Characterization Testing and Monitoring ISRM Suggested Methods*, Pergamon Press, Oxford, 211p.
- Carvalho, C.J.C. (2004) Mapas geológicos não publicados, Setor de Geologia, Cia. de Ferro Ligas da Bahia FERBASA.
- Earthworks Corporation (2002) *Earthworks Downhole Explorer*, Version 3.0, User's Manual.
- Marinho, M.M., Rocha, G.F., Deus, P.B. e Viana, J.S. (1986) Geologia e Potencial Cromitífero do Vale do Jacurici – Bahia. *In: Anais do XXXIV Congresso Brasileiro de Geologia*, V. 5, Goiânia, SBG, pp. 2.074-2087.
- Mello, C.H.M.P., Durão, G., Viana, J.S. e Carvalho, C.J.C. (1986) Depósitos de Cromita das Fazendas Medrado e Ipueira, Município de Senhor do Bonfim, Bahia. *In: Principais Depósitos Minerais do Brasil*, V. 2, DNPM/CVRD, Brasília, DF, pp. 215-234.