

UTILIZAÇÃO DO TELEVISIONAMENTO ÓPTICO DE FUROS DE SONDAGEM EM ANÁLISES CINEMÁTICAS REALIZADAS EM MINÉRIO DE FERRO *

Douglas Marcel Quatiabara Sander Libardi¹

Paulo Salvadoretti²

George Gasper³

Elias Potter⁴

Tiago de Almeida⁵

Resumo

O *optical televiewer* (OPTV) é um dispositivo de perfilagem geofísica que produz uma imagem contínua e orientada da parede do furo de sondagem. Neste trabalho, foram selecionadas perfilagens realizadas em furos de sondagem executados em duas minas que fazem parte da 'Megaestrutura Gandarela', localizada na porção centro-norte do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. As imagens geradas pela sonda OPTV desempenham um papel auxiliar em campanhas de exploração mineral e também na aquisição de informações geotécnicas. Os dados coletados foram retirados das filmagens realizadas a partir da sonda OPTV e do geoposicionamento oferecido pela sonda. A marcação das estruturas nas imagens de OPTV, a correção da deriva magnética e as análises cinemáticas foram realizadas nos softwares *WellCad* e *Dips*. O principal objetivo deste trabalho é efetuar a análise cinemática feita a partir de estruturas marcadas em imagens de OPTV e compará-la com a análise cinemática efetuada a partir das estruturas identificadas no mapeamento geológico estrutural nas minas. O estudo mostrou que as estruturas marcadas com OPTV reproduzem satisfatoriamente as observações do mapeamento geológico estrutural.

Palavras-chave: geofísica, *optv*, minério de ferro.

OPTICAL TELEVISIONING OF SURFACE HOLES - CONSTRUCTION OF KINETIC ANALYSIS FOR THE NON-IRON (MG)

Abstract

The optical televiewer (OPTV) is a geophysical profiling device that produces a continuous and oriented image of the wall of the borehole. In this work, profiles were selected from drill holes drilled in two mines that are part of the 'Gandarela Megaestrutura', located in the central-north portion of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. The images generated by the OPTV probe play an auxiliary role in mineral exploration campaigns and also in the acquisition of geotechnical information. The data collected were taken from the filming of the OPTV probe and the geo-positioning offered by the probe. The marking of the structures in the OPTV images, the magnetic drift correction and the kinematic analyzes were performed in *WellCad* and *Dips* software. The main objective of this work is to perform the kinematic analysis made from structures marked in OPTV images and compare it with the kinematic analysis performed from the structures identified in the structural geological mapping in the mines. The study showed that the structures marked with OPTV satisfactorily reproduce the observations of the structural geological mapping.

Keywords: geophysics, *optv*, iron ore.

- ¹ *Licenciado em Física (UFRGS), Mestrando, Laboratório de Pesquisa Mineral e Planejamento Mineiro (LPM-UFRGS), Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul e Brasil.*
- ² *Graduado em Engenharia de Minas (UFRGS), Mestre em Geofísica (UFPa), Doutor em Mineração Metalurgia e Materiais (UFRGS), doutor, professor/pesquisador, Laboratório de Pesquisa Mineral e Planejamento Mineiro (LPM-UFRGS), Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul e Brasil.*
- ³ *Bacharel em Geofísica pela Universidade de Lagos-Nigéria, Mestre em Engenharia Mineração Metalurgia e Materiais, Mestre (UFRGS) , Mestre, Doutorando na UFRGS, Laboratório de Pesquisa Mineral e Planejamento Mineiro (LPM-UFRGS), Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul e Brasil.*
- ⁴ *Graduando em Engenharia de Minas (UFRGS), bolsista de Iniciação Científica, Laboratório de Pesquisa Mineral e Planejamento Mineiro (LPM-UFRGS), Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul e Brasil.*
- ⁵ *Bacharel em Geologia (UNISINOS), Mestre em Engenharia Mineração Metalurgia e Materiais, Mestre (UFRGS), pesquisador, Laboratório de Pesquisa Mineral e Planejamento Mineiro (LPM-UFRGS), Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul e Brasil..*

1 INTRODUÇÃO

O televisionamento de furos de sondagem é uma técnica relativamente nova. Foi introduzida no Brasil no ano de 2001 (Baillot et al., 2004) e apresenta-se hoje como uma técnica auxiliar na análise de problemas geológico-geotécnicos na mineração a céu aberto e subterrânea. Mesmo levando-se em conta todas as possíveis vantagens relacionadas ao seu uso, apenas recentemente foram feitas considerações detalhadas sobre o aproveitamento das imagens geradas por tais dispositivos, como pode ser visto em Oliveira (2013).

O OPTV é um dispositivo de perfilagem geofísica que produz uma imagem contínua e orientada da parede do furo de sondagem. O uso de imagens de OPTV é prática internacionalmente conhecida na identificação de feições geológicas dos estratos (Fredrick et al., 2014). De acordo com Blake (2010) e Baillot (2012), a combinação da técnica de sondagem com circulação reversa (sondagem RC) e o televisionamento de furos pode levar a uma redução significativa dos custos da pesquisa mineral, reduzindo a necessidade de extração de testemunhos com sondagem rotativa. Desta forma, as imagens geradas pela sonda OPTV desempenham um papel auxiliar em campanhas de exploração mineral e também na aquisição de informações geotécnicas.

O principal objetivo deste trabalho é efetuar a análise cinemática feita a partir de estruturas marcadas em imagens de OPTV e compará-la com a análise cinemática efetuada a partir das estruturas identificadas no mapeamento geológico estrutural nas minas.

Neste trabalho foram selecionadas imagens obtidas em furos de sondagem executados em duas jazidas de ferro (minas de Gongo Soco e Tamandúá), localizadas na porção centro-norte do Quadrilátero Ferrífero, no Estado de Minas Gerais.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste tópico apresenta-se brevemente a sonda OPTV utilizada na aquisição dos dados e a forma como são realizadas as marcações das estruturas nas imagens coletadas. Na sequência, mostra-se como são obtidas as informações para a execução da análise cinemática.

2.1 Optical Televiewer

A técnica de perfilagem geofísica consiste na passagem de sensores dentro de furos de sondagem, efetuando-se medições de várias propriedades (físicas e químicas) das rochas adjacentes ao furo de sondagem.

No caso específico da aquisição de imagens de OPTV, é feito um *scanning* radial da parede do furo, obtendo-se dados orientados no espaço. Esta orientação possibilita uma análise cuidadosa da estrutura geológica de interesse. Tipicamente, os dados são exportados para a produção, por exemplo, de estereogramas das estruturas. Eventualmente, são usados para gerar outras informações adicionais com respeito aos perfis (p.ex. frequência de fraturas, etc.).

Durante a perfilagem, os dados adquiridos incluem o registro de inclinação e azimute do furo. As sondas, em geral, registram outros parâmetros em função da profundidade, como a velocidade da perfilagem, a temperatura e a radiação gama natural, entre outros parâmetros do instrumento.

O OPTV gera uma **imagem** da parede do furo com resolução de 1 milímetro. As aplicações para este tipo de perfil incluem inspeções de defeitos em revestimentos, caracterização de fraturas em furos preenchidos tanto com ou sem água, entre outras. A sonda, quando combinada com perfilagens tradicionais, pode ser usado para mineralogia e estudos de foliação das rochas.

Na aquisição de dados, a imagem é rotada para uma direção referencial comum, geralmente o norte magnético. As feições planares que interseptom a parede do furo produzem traços senoidais na imagem do OPTV aberta. Usando a direção referencial gravada durante a perfilagem, as senóides podem ser analisadas para a produção das características estruturais de mergulho (*dip*) e direção de mergulho (*dip direction*).

As marcações feitas a partir das imagens do OPTV podem ser vistas na Figura 1. Conforme Chung *et al.* (2008), as imagens geradas com o OPTV permitem definir a orientação das litologias e as suas características planares estruturais.

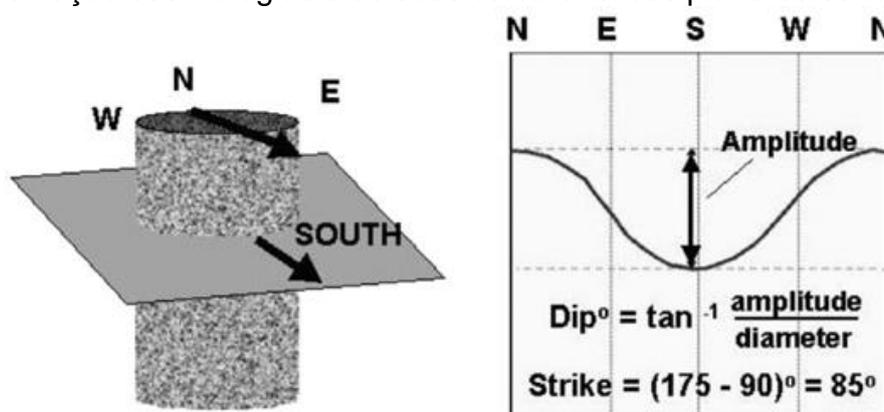


Figura 1. Ilustração representando o esquema de transformação das imagens inicialmente "fechadas", para imagens "abertas" e a definição de *dip* e *dip direction* em cada caso. (Extraído de Chung *et al.* 2008).

A seguir serão apresentados dados geológico-geotécnicos das minas de Gongo Soco e Tamanduá.

2.2 Mina Gongo Soco

O resumo das observações do mapeamento geológico-estrutural de superfície está disponível em Anon. (2008) e serve de base para as comparações entre os dados de superfície e os dados de OPTV obtidos em furos de sondagem. Neste estudo, a cava foi compartimentada em domínios lito-estruturais e geomecânicos para elaboração de seções geológico estruturais e a análise cinemática da cava da mina. Em um primeiro momento, foram medidas as atitudes das estruturas principais nas litologias presentes na cava da mina (taludes norte e sul), gerando os estereogramas do bandamento, foliações, lineações e fraturas. Em seguida, foi realizada a análise cinemática para os diversos setores da cava.

A Figura 2 representa o mapa geológico local da mina. A cava possui um alongamento segundo a direção E-W, sendo que a porção norte exibe um número maior de bancadas que a porção sul. Sua geologia apresenta como principais litotipos aflorantes: solo saprolítico, rocha intrusiva metabásica, hematitas, itabiritos, quartzito, filitos e xistos.

Distribuição litológica Cava Atual de Gongo Soco - 3D

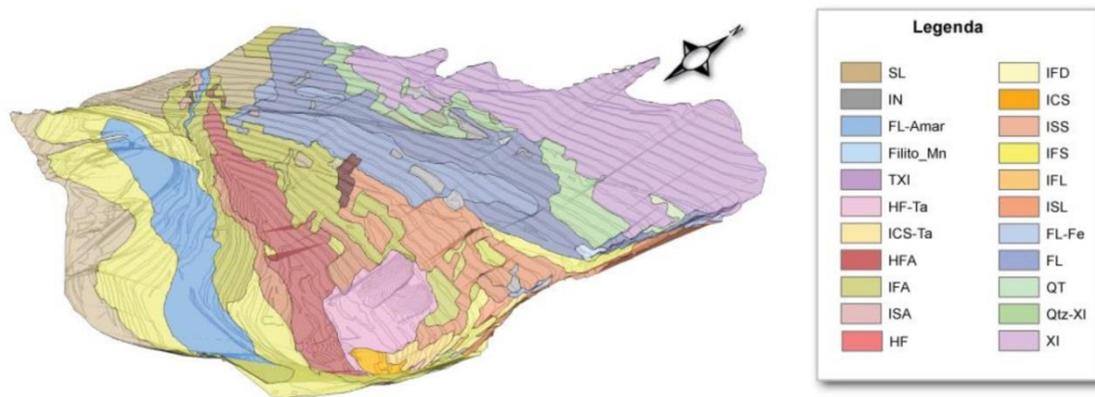


Figura 2. Mapa geológico da Mina de Gongo Soco. (Fonte: Anon., 2008).

Em se tratando da geologia estrutural da mina, foram identificadas várias estruturas planares e lineares, sendo as principais: bandamento (Sb), foliação (Sn), clivagem de fratura (Sn+1), famílias de fraturas (Fr) presentes nas rochas metabásicas intrusivas (IN), lineação de intersecção (Li) e eixo de dobra (bn).

Neste artigo, somente os dados do bandamento Sb, da foliação Sn e das fraturas serão utilizadas para comparações, pois julga-se que sejam estas as estruturas possíveis de visualização com o OPTV em função do posicionamento perpendicular dos furos em relação às mesmas.

2.3 Mina do Tamanduá

A Mina do Tamanduá posiciona-se na região centro-norte do Quadrilátero Ferrífero e se insere no domínio geológico do Supergrupo Minas, representado pelos quartzitos da Formação Moeda e filitos da Formação Batatal (Grupo Caraça) e formações ferríferas da Formação Cauê (Grupo Itabira).

Em Anon. 2004 e Anon. 2012 estão descritos os litotipos das formações ferríferas, constituídos pelos itabiritos argilosos, itabiritos silicosos de consistência friável, média e compacta e hematitas de consistência friável, média e compacta, sendo também mapeadas as rochas da encaixante leste (Grupo Caraça) e as metavulcânicas e intrusivas máficas presentes na área.

Durante o mapeamento foi identificado um grande acervo de estruturas geológicas planares e lineares, como o acamadamento S0, bandamento composicional (Sb), foliações (Sn, FL), clivagens (Sn+1, Sn+2), lineação de intersecção (Li), eixos de dobras (Bn, Bn+1, Bn+2), superfícies de cisalhamento (Scis), fraturas e falhas.

Para efeitos de comparação, utiliza-se aqui o mesmo critério utilizado na Mina de Gongo Soco, ou seja, comparam-se os dados retirados das imagens do OPTV somente com o bandamento S0, o bandamento composicional (Sb) e as foliações, as quais tem atitudes muito similares aos mergulhos gerais para nordeste-leste verificados nas imagens do OPTV.

Os domínios lito-estruturais da Mina do Tamanduá foram definidos com base nas formas das principais estruturas mapeadas. Foram então definidos oito domínios estruturais, sendo quatro deles subdivididos com base nas características litológicas, em quatorze subdomínios, conforme mostrado Figura 3.

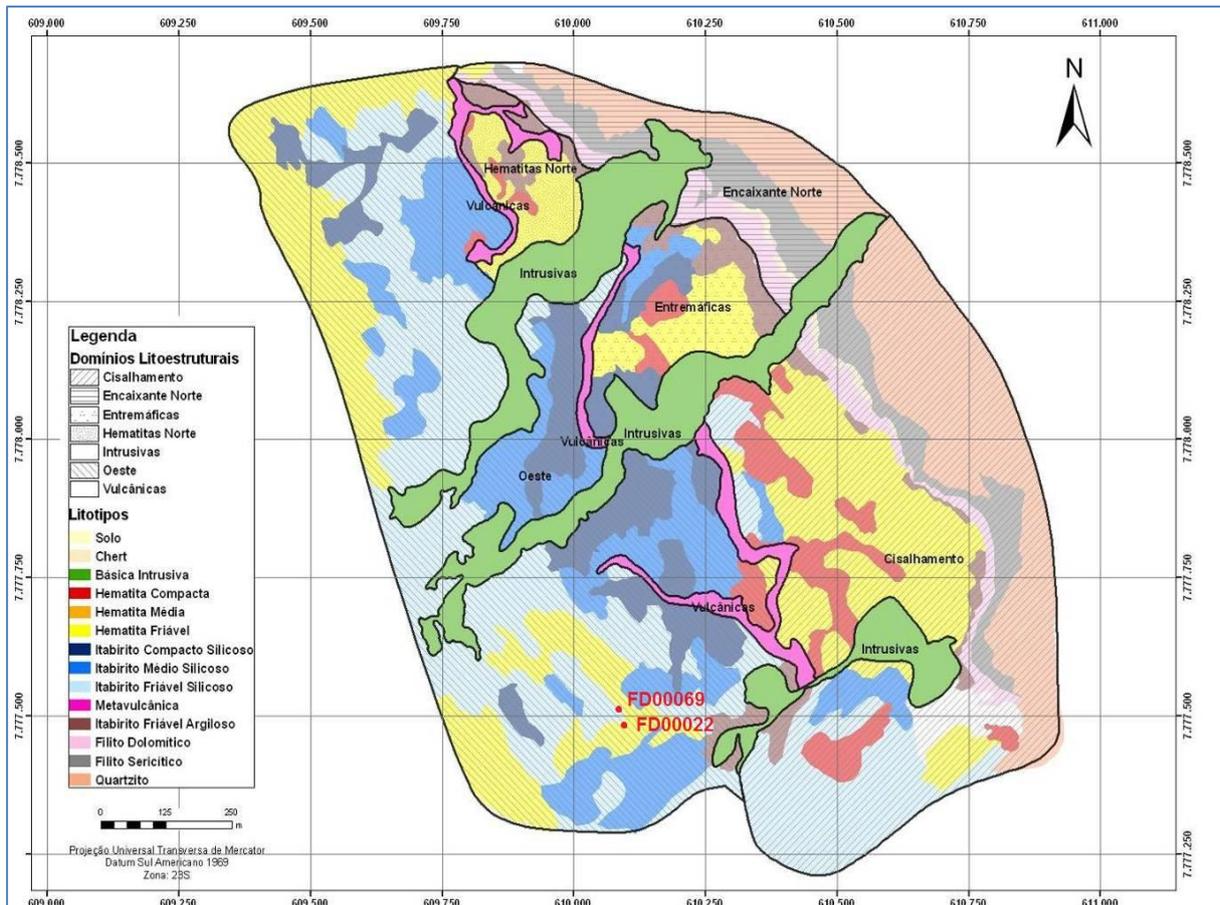


Figura 3. Domínios Lito-estruturais da Mina do Tamanduá. Os furos televisionados se encontram no Domínio Oeste e entre os Subdomínios de Hematita Friável e Itabirito Friável Silicoso.

3 DISCUSSÃO DE RESULTADOS

As análises cinemáticas em Gongo Soco foram efetuadas nos domínios A, B, C e D, e na Mina do Tamanduá no Domínio Oeste, sendo utilizada a metodologia de *Markland* (Mah et al. 2004) para análise de rupturas. Os ângulos de atrito utilizados para construção do cone de atrito foram de 25° e 35°, para a Mina Gongo Soco, e de 36°, para a Mina do Tamanduá, seguindo os valores usados em Anon. (2008) e Anon. (2012), onde foram analisadas as possibilidades de ocorrência de rupturas planares, em cunha e tombamento, considerando-se todas as estruturas planares levantadas nas minas.

Com base nos dados do OPTV foram confeccionados estereogramas a partir dos bandamentos e fraturas marcadas no perfil dos furos.

A quantidade de dados adquiridos em Gongo Soco, para a realização das análises, foi de mais de 1300 pontos, definindo assim quais são as estruturas principais da mina. A partir do OPTV, contabilizando todos os tipos de estruturas nos 3 furos considerados, obteve-se um total de 201 marcações.

Comparando-se os estereogramas gerados pela análise de dados do OPTV com os gerados em Anon. (2008) para o bandamento e a foliação (estruturas principais) pode-se notar boa semelhança visual entre os mesmos.

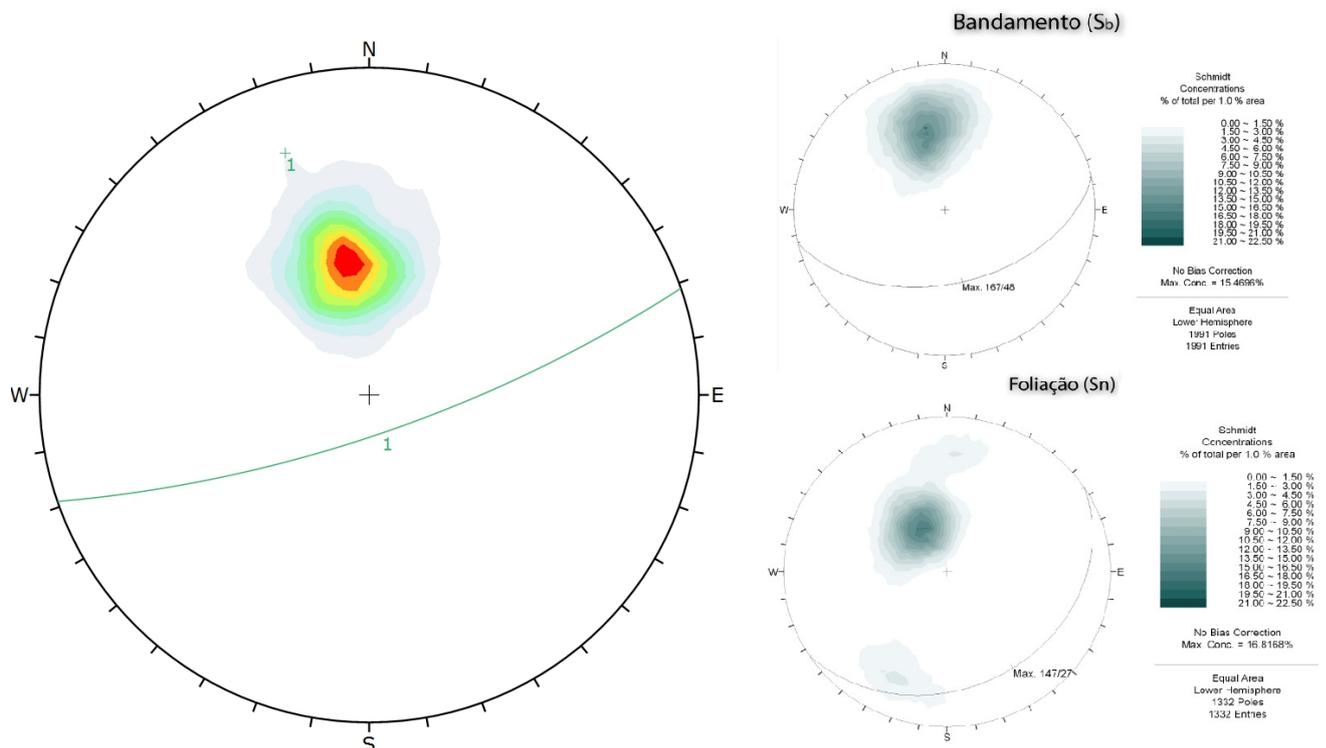


Figura 4. À esquerda o estereograma mostrando os dados obtidos pelo OPTV e à direita as duas estruturas principais na Mina Gongo Soco.

No caso da Mina do Tamanduá, a quantidade de dados adquiridos no mapeamento geológico-estrutural, para a realização de suas análises cinemáticas, foi de mais de 1500 pontos. A partir do OPTV, contabilizando todos os tipos de estruturas nos 2 furos considerados, obteve-se um total de 102 marcações.

Comparando-se os estereogramas gerados pela análise de dados do OPTV com os gerados em Anon. (2012), verifica-se novamente uma boa semelhança visual entre as mesmas estruturas, não sendo possível discernir entre as estruturas Acamadamento (S_0), Bandamento (S_b) e Foliação (S_n) nas imagens de OPTV.

As tabelas 2 e 3 ilustram o comparativo dos resultados das análises cinemáticas geradas com base nas imagens do OPTV e dados de Anon.(2008) e Anon.(2012), respectivamente.

Com relação às análises cinemáticas, nota-se, com base na Tabela 2, que a maioria das rupturas apresentadas nas imagens de OPTV apontaram uma possibilidade de tombamento. Esta diferença entre resultados pode levar a uma conclusão precipitada de que os resultados apresentados pela análise de campo e a análise de dados gerados por OPTV são diferentes. Porém, é preciso considerar que a base de dados dos mapeamentos de superfície envolvem um conjunto de dados significativamente maior do que os obtidos via OPTV, o que pode explicar estas diferenças.

As mesmas conclusões acima podem ser verificadas na comparação de dados feitos na Mina do Tamanduá.

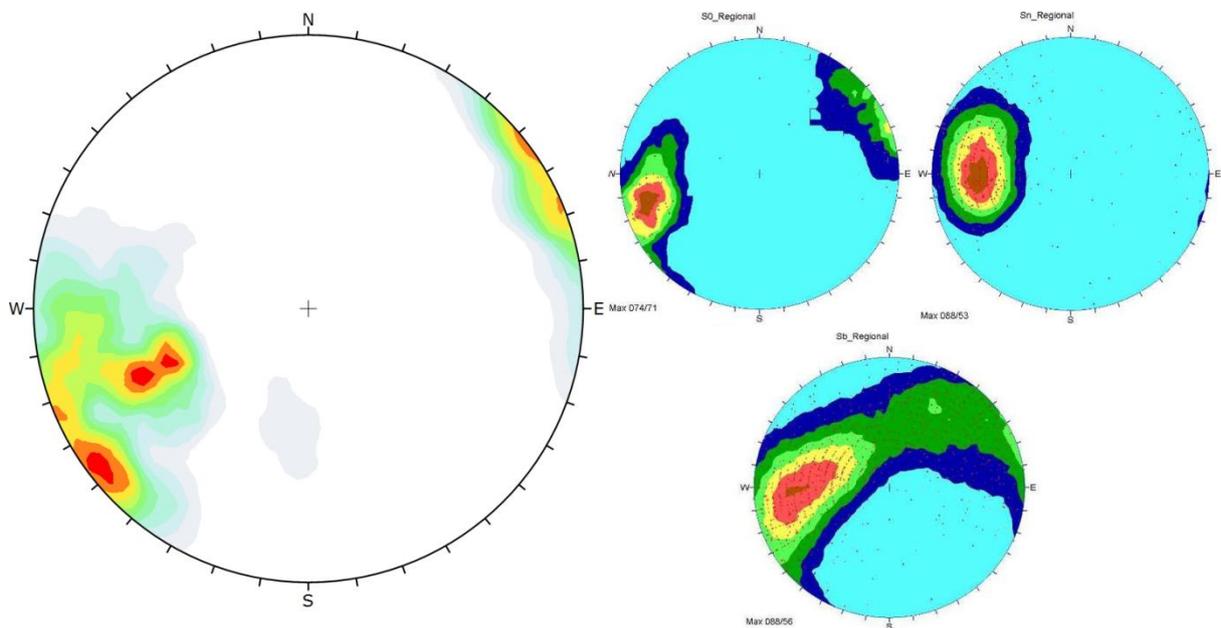


Figura 5. A esquerda o estereograma mostrando os dados obtidos pelo OPTV e a direita as três estruturas principais na Mina do Tamanduá

Tabela 2. Análise comparativa entre resultados OPTV e Anon. 2008, Mina Gongo Soco.

FURO	DOMÍNIO	TALUDE	ANGULO DE ATRITO	TIPO DE RUPTURA - OPTV	TIPO DE RUPTURA - Anon.2008
GSO00023	Domínio C	135/60	25	Cunha	Planar
			35	Tombamento	Planar
		180/60	25	Tombamento	Planar e Cunha
			35	Tombamento	Planar e Cunha
		220/60	25	Cunha	Cunha
			35	Cunha	Cunha
GSO00025	Domínio B	020/60	25	Tombamento	Sem Possibilidades
			35	Tombamento	Sem Possibilidades
		150/60	25	Tombamento	Planar e Cunha
			35	Tombamento	Planar
GSO00027	Domínio A	295/60	25	Tombamento	Sem Possibilidades
			35	Tombamento	Sem Possibilidades
		350/60	25	Tombamento	Tombamento
			35	Tombamento	Tombamento

Tabela 3. Análise comparativa entre resultados OPTV e Anon. 2012. Possibilidades de rupturas para cada talude no Domínio Oeste, Subdomínio Itabirito Friável (Mina do Tamanduá).

Talude	Anon. 2012	OPTV - FUROS 22 E 69
14	Sem possibilidades	Tombamento Direto
15	Sem possibilidades	Tombamento Direto
19	Planar e Cunha (duas possibilidades para cada)	Cunha
20	Planar e Cunha	Tombamento Oblíquo
21	Cunha (duas possibilidades)	Tombamento Oblíquo
23	Cunha (duas possibilidades)	Tombamento Flexural
26	Planar e Cunha (duas possibilidades para cada)	Tombamento Circular
30	Planar e Cunha (duas possibilidades para cada)	Tombamento de Base

4 CONCLUSÃO

Com este estudo, pode-se afirmar que é possível retirar informações importantes sobre a geologia estrutural e a geomecânica de um maciço rochoso. A partir disso, constatou-se o potencial da OPTV como uma ferramenta de apoio, não um substituto para a sondagem testemunhada, mas um poderoso aliado no momento de realizar análises com informações não vistas no testemunho, como comportamento da rocha no interior dos taludes. O estudo mostrou que as estruturas marcadas com OPTV reproduzem satisfatoriamente as observações do mapeamento geológico estrutural.

Ocorreram divergências entre os resultados das análises cinemáticas feitas com OPTV e com dados de levantamento geológico-estrutural de superfície. Entretanto deve-se mencionar que estas diferenças já eram de certo modo esperadas, em função da diferente base amostral dos dados utilizados nestas comparações (as informações de levantamentos de superfície permitem a visualização de um conjunto maior de estruturas geológicas em relação ao OPTV) e da pequena quantidade de furos usados nas análises com OPTV.

Agradecimentos

Os autores agradecem fortemente à empresa Vale S.A. pelo suporte disponibilizado para a execução deste trabalho.

REFERÊNCIAS

1. BAILLOT, R. T., **TELEVISAMENTO 360° DAS PAREDES DE FUROS DE SONDAGEM**, Empresa Alphageos, Divulgação Técnica, 2012
2. BAILLOT, R.T., Colas, R., Barton, N., Abrahão, R. e Ribeiro Júnior, A. **Comparing 360° Televising of Drill Hole Walls with Core Logging**. Proc. International Site Investigation Conf, Portugal. 2004.
3. BLAKE, J.R., **Application of borehole imagery in iron ore: examples from Mount Whaleback**, Western Australia. Applied Earth Science (Trans. Inst. Min. Metall. B), VOL 119, NO 3. 2010.
4. Anon., Relatório Interno, MINA GONGO SOCO – VALE, **MAPEAMENTO LITO-ESTRUTURAL E GEOMECÂNICO DA MINA GONGO SOCO**, BVP - Engenharia, 2008.
5. Anon., Relatório Interno, **AVALIAÇÃO GEOTÉCNICA DA GEOMETRIA DOS TALUDES DAS CAVAS FINAIS DAS MINAS DA DIFL, AVALIAÇÃO GEOTÉCNICA DA CAVA FINAL DA MINA TAMANDUÁ**, BVP - Engenharia, 2012.
6. COSTA, R.T., **Análise de Dados de Cargabilidade, Resistividade Elétrica e Susceptibilidade Magnética na Mina do Brucutu, MG**. Dissertação de Mestrado. Prog. de Pós-Grad. em Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 113p. . 2007.
7. Chung M.C., Hsu S.M., Ku C.Y., Tan C.H., Chi S.Y.; **Geotechnical Engineering Research Center, Sinotech Engineering Consultants, Inc.**, Taipei, Taiwan. 2008.
8. DEARING, J., **Environmental Magnetic Susceptibility: A Guide to Using Bartington MS2 System**. 1999.
9. FREDRICK, F., Nguyen, T., Seymour, C., Dempers, G., **Geotechnical data from optical and acoustic televiewer surveys**. The AusIMM Bulletin – Journal of the Australasian Institute of Mining and Metallurgy, n.5, October. 2014.
10. INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS – ISRM,1978. **Suggested methods for the quantitative description of rock masses**. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics abstracts*, vol 15, n6, p319-368.
11. LIBARDI, D. M. Q. S., SALVADORETTI P., ALMEIDA T. GASPER G. O., POOTER E., **RELATÓRIO LPM/VALE - APLICAÇÃO DE PERFILAGEM GEOFÍSICA EM MINÉRIO DE FERRO**, Depto de Engenharia de Minas, UFRGS, 2016
12. MAH, Christopher W. e Wyllie Duncan C., **Rock slope engineering: civil and mining**—4th ed, 2004.
13. MILLOY, Sophie F., McLean Katie e McNamara David D., **Comparing Borehole Televiewer Logs with Continuous Core: An Example from New Zealand**, Proceedings World Geothermal Congress, Australia, 2015
14. NETO, Sérgio Eustáquio, **Avaliação minero-geoambiental da mina de Gongo Soco para fins de descomissionamento**. Dissertação - UFOP. 202f.: il., color.; graf.; tabs.; mapas. 2008.
15. OLIVEIRA, Daniela Garroux Gonçalves de, **Televisamento óptico de sondagens - proposta metodológica para execução e suas aplicações em obras subterrâneas**, Dissertação - IGc/USP, São Paulo, 2015.
16. ROBERTSON GEOLOGGING, **OPTV USER MANUAL**, 2014