

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia
23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



COBRAMSEG 2022
23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL
COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

Aplicações da perfilagem geofísica em furos geotécnicos – estudo de caso

Tayla Monic Leite da Cunha Leão

Geóloga Esp. Geotecnia, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais – PUC MINAS, Belo Horizonte, Brasil, taylamonic@hotmail.com

Bárbara Emilly Vieira Firmino e Souza

Geóloga M.a Geotecnia, Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP, Belo Horizonte, Brasil, e.barbara@yahoo.com

Gustavo Vinícius Gouveia

Geólogo M.e Geotecnia, Empresa VALE, Belo Horizonte, Brasil, gustavo.gouveia@vale.com

RESUMO: O trabalho foi realizado com o objetivo de correlacionar e aplicar as ferramentas de perfilagem geofísica com a descrição geomecânica em furos de sondagem com cunho geotécnico. O estudo de caso levou em consideração o furo MV-00015 de 240m de profundidade com ângulo de perfuração a 90° em uma cava de minério de ferro no Quadrilátero Ferrífero. As ferramentas geofísicas aplicadas foram: gama natural, gama-gama, calíper, *Full Wave Sonic* e ATV/OTV. A descrição geomecânica segue os preceitos de Bieniawski (1989/2011) em que os parâmetros são hierarquizados semi-empiricamente de acordo com a rotina de descrição. As principais variáveis coletadas são: resistência, grau de alteração, grau de fraturamento, classificação de descontinuidades, abertura de parede, rugosidade, preenchimento e alteração do preenchimento. Enquanto a perfilagem geofísica possibilita a interpretação dos raios gamas, que são ótimo marcadores litológicos. Esse projeto possibilitou a comparação e classificação de intervalos geotécnicos com maior precisão, principalmente com relação à resistência.

PALAVRAS-CHAVE: Perfilagem Geofísica; Testemunho de Sondagem, Descrição Geotécnica.

ABSTRACT: This work was carried out with the objective of correlating the application as geophysical logging tools with a geomechanical description in geotechnical drillholes. The case study considered a hole 240m deep with a 90° drilling angle in an iron ore pit. The applied geophysical tools were: gamma-ray, gamma-gamma, caliper, Full Wave Sonic and ATV/OTV. The geomechanical description follows the precepts of Bieniawski (1989/2011) in which the parameters are semi-empirically hierarchized according to the description routine. The main variables collected are: strength, degree of alteration, degree of fracture, classification of discontinuities, wall opening, roughness, filling and filling alteration. While the geophysical profiling allows the interpretation of gamma, which are excellent lithological markers. This project made it possible to compare and classify geotechnical intervals with greater precision, with regard, mainly, to resistance.

KEYWORDS: Geophysical, Drillhole, Geomechanical Description.

1 Introdução

A geofísica é um método indireto que consiste na inserção de hastas metálicas com sensores acoplados por meio de uma Unidade Móvel de Perfilagem (Pereira, 2017) em um furo de sondagem. Para este estudos foram utilizadas as curvas de gama-gama, gama-natural, *Full Wave Sonic* (FWS) e ATV/OTV. O processamento dos dados foi elaborado com auxílio do software WellCad e como resultado tem-se arquivos de extensão las, PDF e também planilhas em excel com as leituras de medidas estruturais.



A aquisição de dados geomecânicos a partir da descrição de testemunhos de sondagem, tem como propósito a descrição das características físicas e geométricas dos materiais/estruturas que estão diretamente relacionadas a resistência do maciço rochoso, utilizando a classificação de Bieniawski (1989/2011) onde os parâmetros são hierarquizados semi-empiricamente, seguindo um roteiro de descrição. O conceito de material compacto, semi-compacto e friável aplicado nessas descrições, fundamenta-se na ISRM (*International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering*).

2 Objetivo

O intuito desse trabalho é apresentar as aplicações e as interpretações dos dados de perfilagem geofísica: gama-gama, gama-natural, cáliper, FWS (*Full Wave Sonic*), ATV (*Acoustic Televier*) e OTV (*Optical Televier*) na descrição geomecânica de furos geotécnicos. A finalidade do estudo é estabelecer uma rotina de trabalho de maneira que se possa agregar, na descrição geomecânica, os dados da perfilagem geofísica.

3 Metodologia

Inicialmente houve a interpretação da curva de gama natural e cáliper com o objetivo de pré – determinar os principais pacotes litológicos e possíveis trechos com arrombamento de paredes do furo MV-00015. A curva de gama gama foi utilizada para filtrar, dentro dos pacotes litológicos estabelecidos, possíveis variações de acordo com a densidade. E por fim, os gráficos de ATV/OTV utilizados na avaliação da resistência dos materiais do furo e também dos valores de RQD (*Rock Quality Designation*). As análises dessas curvas permitiram a obtenção de dados estruturais de descontinuidades contidas nas rochas do furo, de densidade e ainda visualizar o contraste (cor azul – friável e amarelo – resistente) entre a consistência do material perfilado (Figura 1). E os logs de Full Wave Sonic possibilitaram as correlações entre resistência e parâmetros elásticos. O furo MV-00015 apresenta 240m de profundidade, ângulo de perfuração a 90° e está localizado em uma cava de minério de ferro do Quadrilátero Ferrífero. As caixas de testemunho inicialmente são fotografadas e, em seguida, destinadas para a descrição geotécnica.

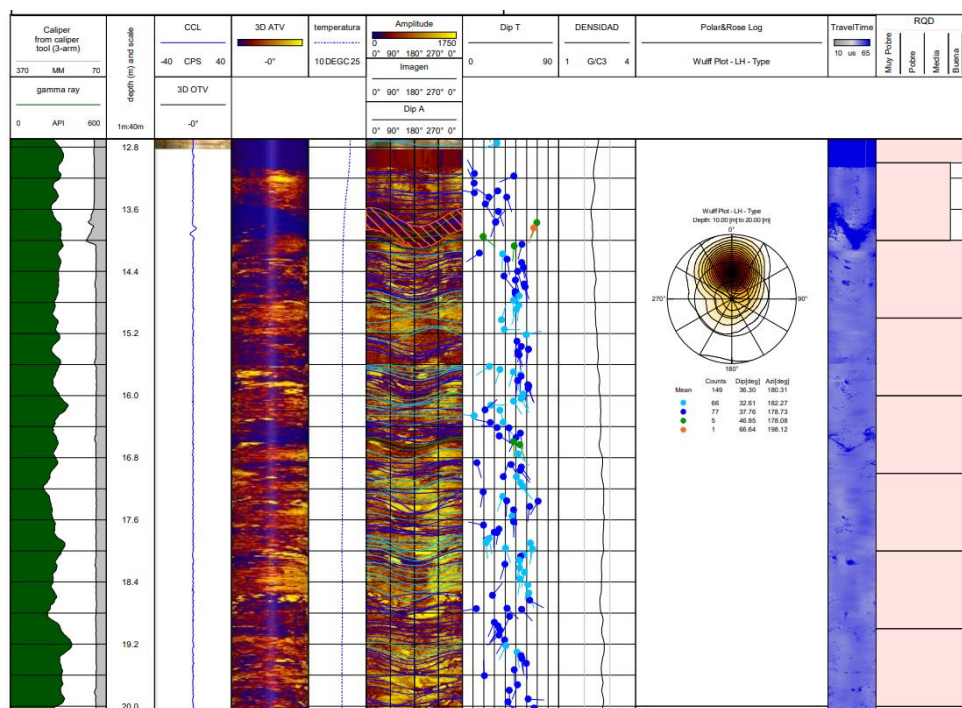


Figura 1 – Exemplo de perfis gráficos verticais dos dados resultantes de uma perfilagem geofísica em um intervalo entre 12 e 20m de profundidade em testemunho de sondagem.

3.1 Descrição Geotécnica

A descrição geotécnica de testemunhos de sondagem é realizada sobretudo observando as características físicas dos materiais e suas estruturas geométricas, fatores que estão diretamente relacionadas a resistência/consistência do maciço rochoso.

O trabalho inicia-se com a identificação e separação de um trecho geotécnico dentro dos limites de um conhecido litotipo. Baseia-se no conceito de material compacto, semi-compacto e friável, critérios fundamentados na ISRM (*International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering*) que associado a habilidades táteis visuais, podem ser comparativas a uma escala em MPa's adquiridas em ensaios UCS (*Uniaxial Compressive Strength*), como demonstrado na tabela abaixo:

Tabela 1 - Comparação e associações entre o grau de resistência das rochas aos valores de ensaios de compressão uniaxial e descrições táteis visuais de campo (Franca *et al.*, 2018).

ISRM	UCS (MPa)		Descrição
Resistência	Mínima	Máxima	Habilidades Táteis Visuais
R0 - Extremamente Branda	0,25	1	Desagrega facilmente por pressão manual
R1 - Muito Branda	1	5	Desagrega sob pressão manual. Fragmenta ao golpe de martelo. Lâmina de aço provoca sulcos profundos.



R2 - Branda	5	25	Somente as bordas dos fragmentos podem ser quebradas sob pressão manual. Quebra ou fragmenta facilmente com golpe de martelo. Penetrável por lâmina de aço.
R3 - Mediamente Resistente	25	50	As bordas dos fragmentos não podem ser quebradas sob pressão manual. Quebra com dificuldade ao golpe do martelo. Lâmina de aço provoca sulcos rasos com dificuldade.
R4 - Resistente	50	100	Quebra com vários golpes de martelo. Lâmina de aço ou riscador dificilmente provoca sulcos.
R5 - Muito Resistente	100	250	Quebra com dificuldade com vários golpes de martelo. Não riscável por lâmina de aço ou riscador.
R6 - Extremamente Resistente	250	>250	Somente lasca com vários golpes de martelo. Impenetrável por lâmina de aço ou riscador. Fragmentos com bordas cortantes.

Posteriormente aplica-se a tradicional classificação de Bieniawski (1989/2011) que para geomecânica de testemunhos de sondagem em cavas a céu aberto abrange apenas a coleta dos dados de Grau de Resistência, Grau de Alteração, Grau de Fraturamento, Descontinuidade Principal (espaçamento entre elas) e Condições das Juntas (abertura, grau de alteração, rugosidade e preenchimento da descontinuidade). O Percentual de RQD (*Rock Quality Designation*) proposto por Deere 1963, também é apurado, tudo isso dentro do trecho geotécnico estabelecido e definido como semi-compacto/ mediamente resistente e compacto/ resistente. Em trechos de rochas friáveis/ brandas (menor que 10MPa) essa classificação não é satisfatória, nestes casos somente a resistência e alteração do material é estudada.

4 Resultados

A maior compatibilidade esteve relacionada aos trechos de material friável e compacto expressos no gráfico ATV pela cor azul e amarela respectivamente. Apesar dos limites dos intervalos não serem tão compatíveis com os intervalos dos testemunhos na bancada.

No perfil 3D ATV da Figura 2 é possível ver um intervalo entre 23,60 e 25m na cor azul, representando o material friável perfilado. Nota-se ainda queda nos valores de densidade nessa metragem, no entanto essa porção friável foi definida entre a metragem de 22,40 e 25,85m na descrição de bancada (Figura 3). Posterior a esse trecho ocorre a passagem para material semi-compacto o que também pode ser evidenciado na geofísica com o aumento de passagens amareladas.

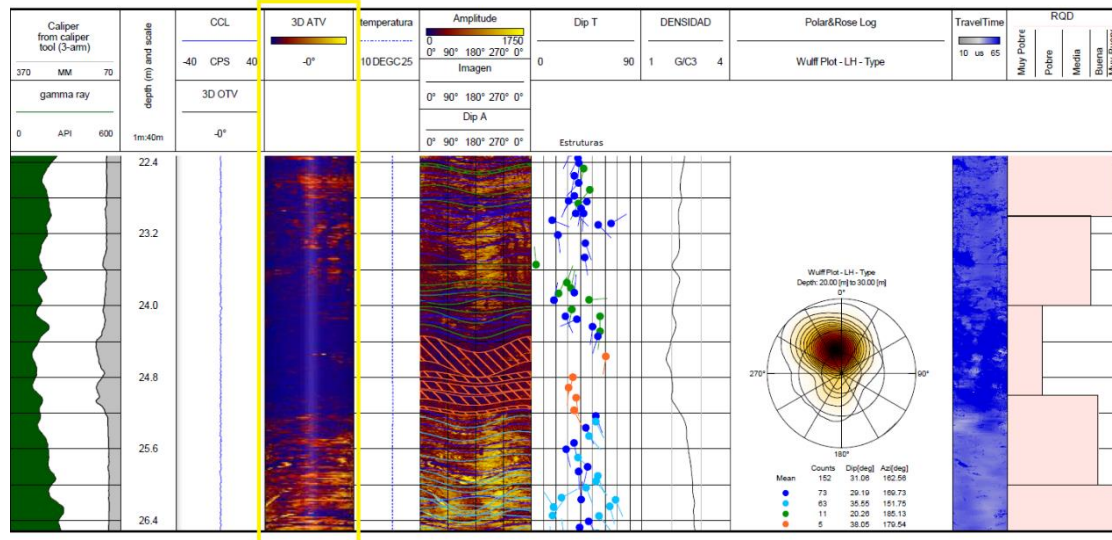


Figura 2 - Perfis geofísicos. Circulado em amarelo os resultados da ferramenta ATV em um intervalo de rocha friável com transição para semi-compacto.



Figura 3 – Registro de testemunhos de sondagem destacando em amarelo intervalo de rocha friável como demonstrado no perfil ATV.

A identificação dos intervalos de material compacto na perfilagem geofísica é facilmente identificada pela cor amarela e seus limites são mais precisos com os descritos nos testemunhos em bancada.

Nota-se também que no início do perfil entre aproximadamente 68,40m e 69,20m ocorrem passagens azuis correlacionadas a material mais friável, sendo assim pode-se entender que esses trechos representem material semi-compacto. As Figura 4 e Figura 5 demonstram isso.

Um fator que chamou atenção foi o percentual de RQD que na perfilagem geofísica para o trecho de material compacto, resultou em muito boa (90 a 100%) no entanto a quantidade de medias estruturais



encontradas pela perfilagem e também na descrição de bancada conduzem para uma classificação de um intervalo muito fraturado, onde o RQD geralmente estaria bem abaixo de 90%.

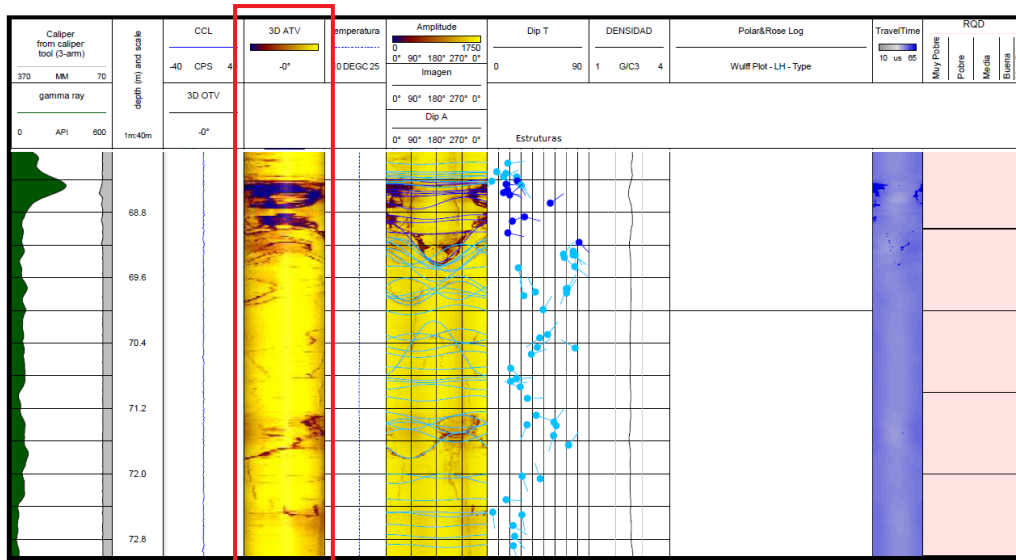


Figura 4 - Perfis geofísicos. Circulado em vermelho os resultados da ferramenta ATV em um pequeno intervalo de rocha compacto.



Figura 5 - Registro de testemunhos de sondagem exibindo material semi-compacto antes do intervalo destacado em amarelo de rocha compacta como demonstrado no perfil ATV.

As leituras das medidas da principal descontinuidade descrita nos testemunhos, uma xistosidade, assemelharam-se as obtidas pela geofísica e expressas no perfil pelos símbolos nas cores azuis (ver Figura 4). Essa semelhança pode ser vista na comparação entre os ângulos de mergulho da estrutura principal e mais repetitiva nos intervalos de materiais compactos.

Observou-se que dentro de um pacote de rocha xistosa muito resistente (R5) quando houve uma queda para um trecho resistente (R4), passagem de aproximadamente 2 metros entre a profundidade de 139,25m a 141,5m, conjuntamente se notou um declínio no gráfico de densidade expresso na perfilagem geofísica saindo



de 3g/c3 para aproximadamente 2,5g/c3, o que também observou-se estar associado a porções de rocha um pouco mais alteradas e consequentemente mais quebradiças.

Ainda com relação a variação na densidade expressa no perfil, foi possível perceber quedas nos valores de 3 para aproximadamente 2,5 g/c3 na passagem entre litologias distintas, como por exemplo entre um pacote de rocha xistosa e um intervalo de veio de quartzo nas metragens de 188,85m a 189,65m como exibido na Figura 6.

A distinção em trechos de rocha ferruginosa foi notória, com elevação da densidade para 4 g/c3.

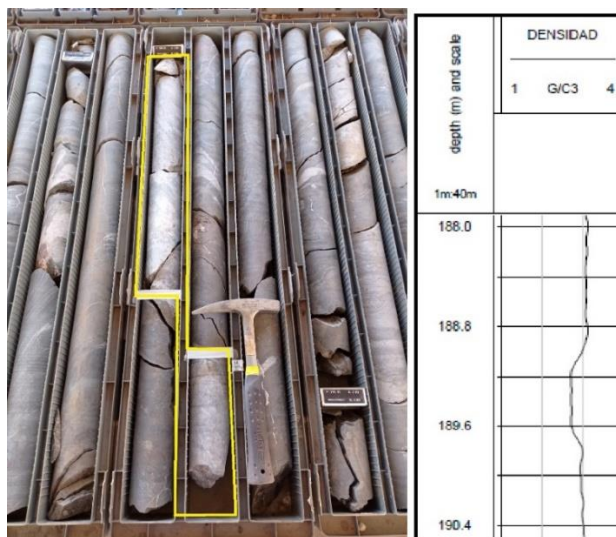


Figura 6 - Foto de testemunhos de sondagem destacado de amarelo intervalo de veio de quartzo em meio a pacote de rocha xistosa. A direita, perfil de densidade da perfilagem geofísica (escala 1:40m) evidenciando queda de densidade exatamente no mesmo intervalo.

A presença de mineral micáceo na composição do material rochoso no testemunho de sondagem, foi constatada no perfil geofísico do gamma natural demonstrando aumento de seus valores nestes intervalos. Isso pode ser bem visto em porções de rocha granítica. Alguns trechos de rochas xistosas ricas em muscovita também apresentaram valores mais elevados desse parâmetro.

5 Conclusão

Esse estudo possibilitou classificar intervalos geotécnicos com maior precisão principalmente no quesito resistência em zonas de transição para materiais semi-compactos que, talvez, passariam despercebidos na descrição tátil visual, como na passagem de materiais brandos (R2) para rochas mediantemente resistentes. Isso é possível ser visto nos resultados do perfil ATV, onde a mistura de trechos azuis e amarelos indicam zonas de transição entre material friável e semi-compacto.



Ademais foi observado que a queda na densidade pode expressar: i) mudança litológica, ii) mudança na resistência do material e iii) podem indicar presença de espaços vazios, devido ao aumento no grau de fraturamento.

A principal aplicação da curva de gama natural foi com relação à marcação litológica. O aumento do grau API geralmente estava associada a regiões com concentração de minerais micáceos e argilomoneais. As curvas de gama natural apresentaram boas respostas para a transição do xisto compacto para uma intrusiva friável. Contudo o contato da intrusiva friável para um quartzito compacto não teve mudança significativa no grau API.

6 Sugestões de estudos futuros

Alguns aspectos necessitam de análises mais detalhadas pois não indicaram respostas satisfatórias, como por exemplo, uma grande quantidade de medidas estruturais lidas em trechos friáveis (R1) e a relação entre o perfil de RQD fornecido pela perfilagem geofísica com os valores de RQD calculados na bancada de descrição. Sugere-se uma separação e compração das medidas estruturais retiradas em bancada com as medidas estruturais perfiladas na geofísica e ainda uma análise comparativa entre os trechos de materias compactos perfilados com ensaios gemecânicos de compressão a resistência em laboratórios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bieniawski, Z.T. (2011) *Errores en la aplicación de las clasificaciones Geomecánicas y su Corrección*. Jornada sobre la Caracterización Geotécnica del Terreno. Adif. Madrid.
- Bieniawski, Z.T. (1989) *Engineering Rock Mass Classification*. John Willey and Sons, New York, 251 p.
- Deere, D.U. & Deere, D.W. (1988) *The rock quality designation (RQD) index in practice*. In Rock classification systems for engineering purposes, (ed. L. Kirkaldie).
- Franca, P. Costa, T. & Stacey, P. (2018). *Soft Iron Ores and Other Leached Rocks. Guidelines for Open Pit Slope Design in Weak Rocks*, D. Martin and P. Stacey (eds.), CSIRO Publishing, Melbourne, Australia, 269-308.
- ISRM (1978) *Suggested Methods for Determining Tensile Strength of Rock Materials*. International Society for Rock Mechanics. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech Abstr. Vol. 15.
- Pereira, W. R. (2017) *Perfilagem geofísica aplicada à determinação de parâmetros geomecânicos em maciços rochosos*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Núcleo de Geotecnia da Escola de Minas/UFOP, 239 p.