

USO COMBINADO DE SONDAGENS GEOFÍSICAS X SONDAGENS MECÂNICAS VISANDO A OTIMIZAÇÃO DE SONDAGENS DIRETAS – PDR TAMANDUÁ - VALE

Barreto, A.A.F.S¹; Bozzi, A.H.R²; Cunha, P.M.P³; Mafort, M.G.T⁴; Medeiros, K.P.M.⁵; Silva Neto, J.C.A⁶

Resumo – A caracterização das propriedades elásticas de solos e rochas é tradicionalmente realizada por meio de ensaios geotécnicos de campo, como o SPT (Standard Penetration Test) e as sondagens rotativas, que fornecem dados pontuais e localizados. No entanto, para alcançar uma representação mais abrangente e contínua dessas propriedades em escala de área, métodos geofísicos indiretos, como a sísmica de superfície (MASW) e a eletrorresistividade, têm sido cada vez mais utilizados. Esses métodos permitem a interpolação de dados e a construção de modelos geotécnicos mais realistas, especialmente em áreas extensas ou de difícil acesso. A geofísica aplicada tem se consolidado como uma ferramenta complementar aos métodos convencionais, contribuindo significativamente para a interpretação e correlação dos dados obtidos por sondagens mecânicas. A comparação entre os métodos diretos e indiretos revela não apenas a complementaridade entre eles, mas também a possibilidade de otimizar o número de sondagens necessárias, reduzindo custos e prazos de execução. Além disso, a aquisição de dados geofísicos é uma atividade de baixo impacto ambiental, dispensando autorizações específicas no processo de licenciamento. Este trabalho tem como objetivo analisar como os métodos geofísicos podem contribuir para a determinação de parâmetros geotécnicos, especialmente em áreas não antropizadas ou ainda não licenciadas. A integração entre dados diretos e indiretos permite uma caracterização geológica-geotécnica mais precisa, subsidiando o dimensionamento de obras com maior eficácia e segurança, além de promover o uso racional dos recursos disponíveis.

Abstract – The elastic properties of soils and rocks are traditionally characterized through field geotechnical tests, such as the Standard Penetration Test (SPT) and rotary drilling, which provide localized and point-specific data. However, to obtain a more continuous and representative understanding of these properties on a regional scale, indirect geophysical methods—such as Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) and electrical resistivity—have been increasingly adopted. These techniques enable data interpolation and the development of more realistic geotechnical models, particularly in extensive or inaccessible areas. Applied geophysics has emerged as a complementary tool to conventional methods, enhancing the interpretation and correlation of data obtained from mechanical drilling. The comparison between direct and indirect methods highlights their complementarity and the potential to optimize the number of required boreholes, thereby reducing project costs and execution time. Additionally, geophysical data acquisition is a low-impact activity that generally does not require specific environmental licensing. This study aims to evaluate the contribution of geophysical methods to the determination of geotechnical parameters, especially in non-anthropized or unlicensed areas. The integration of direct and indirect data supports more accurate geological-geotechnical characterization, improving the design of engineering works in terms of efficiency and safety, while promoting the rational use of available resources.

Palavras-Chave – Métodos Geofísicos; Sondagens Geotécnicas; SPT; Correlações;

¹ Eng. Esp., VALE: Mina de Brucutu – MG, 32 99991-9797, alexandra.barreto@vale.com

² Eng. MSc., BVP: Belo Horizonte – MG, (28) 999027866, afonso.bozzi@bvp.eng.br

³ Eng. Esp., VALE: Mina de Brucutu – MG, 31 98735-9777, pmarcelo.cunha@vale.com

⁴ Eng. MSc., Progen: Belo Horizonte – MG, (11) 932837649, mikaelmafort@gmail.com

⁵ Eng., MSc., VALE: Mina de Brucutu – MG, 31 99850-0293, kellen.medeiros@vale.com

⁶ Eng. MSc., VALE: Mina de Brucutu – MG, 31 99994-1726, joao.carlos.neto@vale.com

1. INTRODUÇÃO

Embora o SPT seja amplamente reconhecido como o ensaio mais popular e econômico para investigação geotécnica em praticamente todo o mundo, esse método não é capaz de fornecer todas as informações adequadas e confiáveis para a análise do solo. Um recurso que tem sido cada vez mais utilizado com esse objetivo na engenharia geotécnica é o levantamento geofísico, destacando-se o método de sísmica de refração. Com base no conhecimento das propriedades elásticas dos materiais geológicos e seus efeitos na propagação das ondas sísmicas, é possível determinar módulos elásticos dinâmicos a partir das velocidades das ondas P e S, assim como da densidade dos materiais.

A integração bem planejada de diferentes métodos de aquisição de dados na geotecnia permite uma caracterização geotécnica mais precisa e realista. No Brasil, é cada vez mais comum combinar sondagens diretas com levantamentos sísmicos, o que possibilita a identificação de locais de interesse potencial ou pontos críticos que demandem maior detalhamento, especialmente em áreas sem licença para supressão de vegetação para abertura de acessos ou implantação de praças de sondagens mecânicas. Além disso, essa abordagem permite otimizar a quantidade de sondagens diretas em relação às geofísicas, trazendo benefícios significativos em custo, tempo e segurança na execução.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

A área de investigação está localizada à nordeste do Quadrilátero Ferrífero, mais precisamente na região de fechamento do Sinclinal Gandarela, uma dobra de escala regional.

Segundo Oliveira, Endo e Oliveira (2005), o Sinclinal Gandarela é formado por metassedimentos do Supergrupo Minas, em contato com as sequências do Supergrupo Rio das Velhas, sobre rochas graníticas do Complexo Metamórfico Guanhães. Este complexo é composto por ortognaisses tonalíticos-trondhjemiticos-granodioríticos e graníticos, apresentando também intercalações de camadas máficas anfibolíticas.

As Figura 1 e 2 mostram a localização da área de interesse no contexto geológico acima citado.

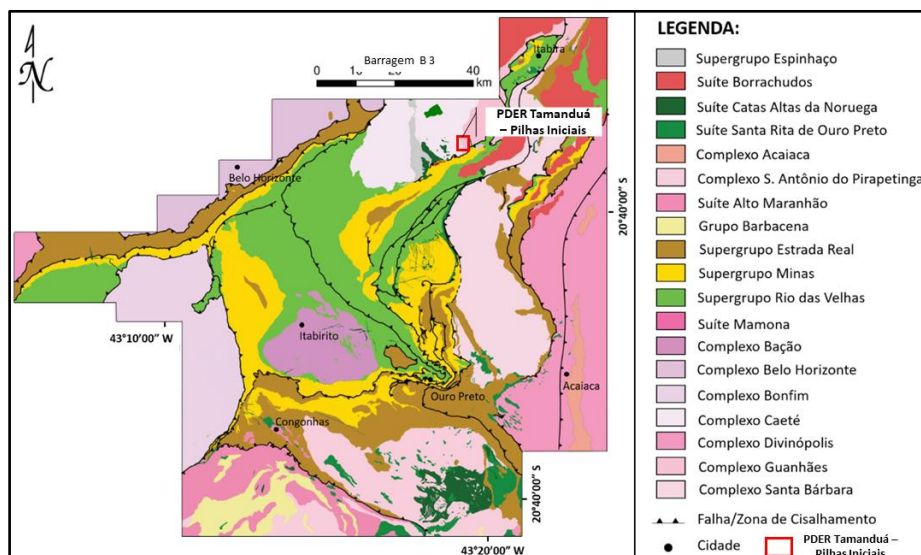


Figura 1 - Localização da Área de Interesse no contexto do QFe (Fonte: Endo et al. 2019a).

A área de abrangência inclui os Complexos Metamórficos, que englobam uma diversidade litológica constituídas predominantemente por gnaisses bandados, migmatizados, com ou sem intrusões anfibolíticas. Do ponto de vista textural e estrutural, as rochas destes complexos podem apresentar-se isótropas ou foliadas, como resultado da superposição de processos tectono-

metamórficos. Em geral, a foliação principal é produto de transposição, sendo resultados de processos relacionados ao cisalhamento dúctil não-coaxial.

Para essa Região as rochas afloram expressivamente ao norte, e compreendem gnaisses de composição tonalítica-granodiorítica, migmatizados em diferentes graus. O bandamento gnáissico, produto da deformação, tem direção NE-SW com mergulhos moderados para SE, sendo caracterizado por bandas leucocráticas métricas, descontínuas e constituídas predominantemente por quartzo e feldspato e por lâminas mesocráticas ricas em minerais máficos, especialmente biotita.

Para a construção do mapa geológico-geotécnico foram analisados dados regionais (Endo, 2019), registros de campo do mapeamento, dados de sondagens existentes e ortofoto.

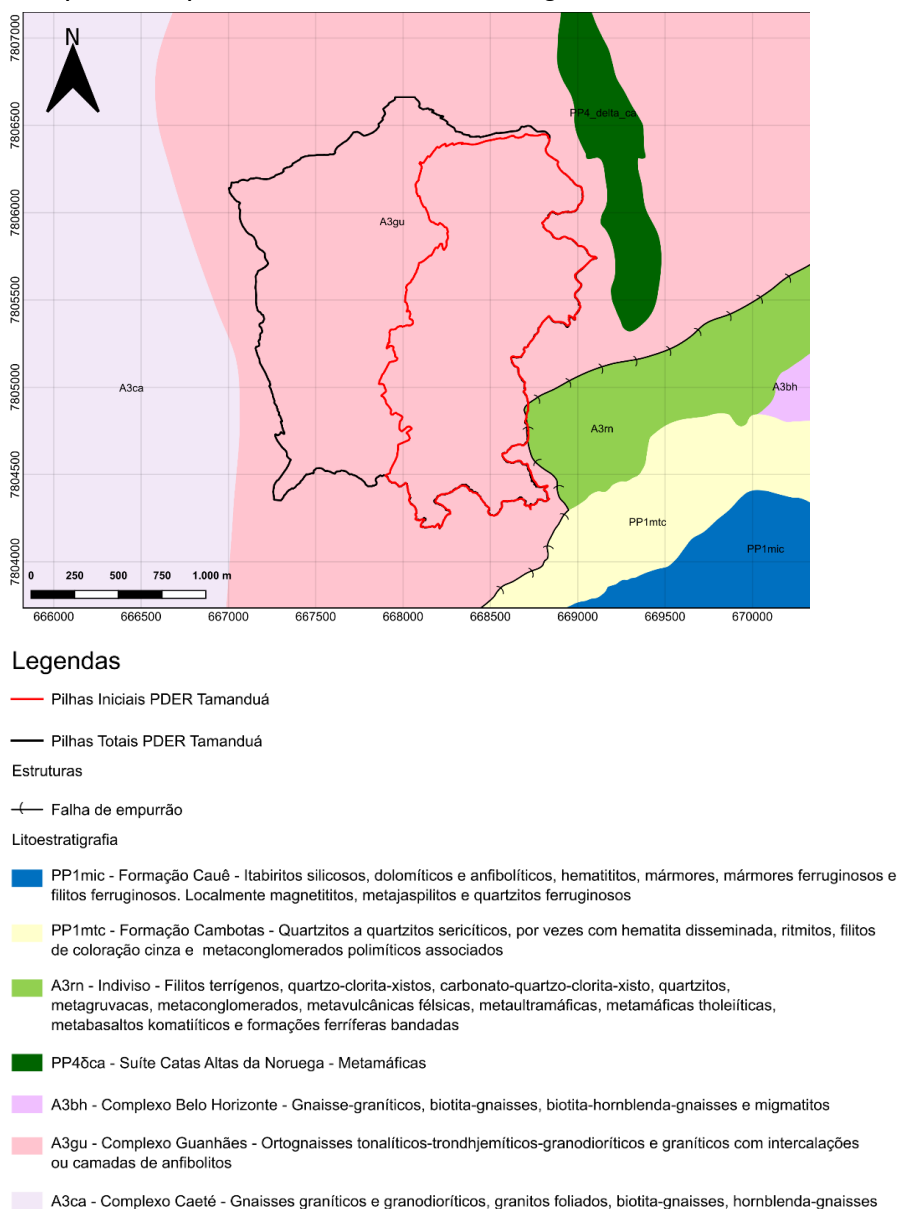


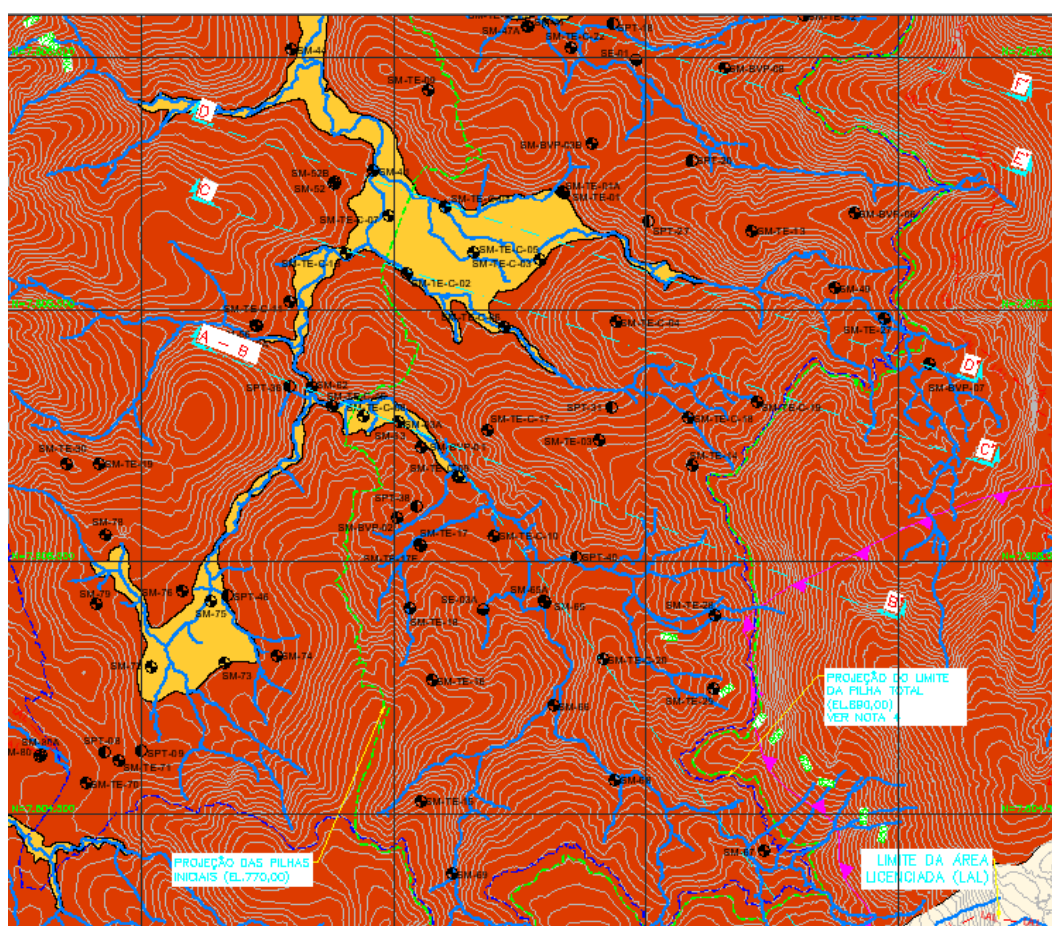
Figura 2 - Mapa geológico regional da área de implantação da PDER Tamanduá. Em preto tem-se o limite preliminar da fase final da pilha (Pilha Total) e em vermelho o limite das Pilhas Iniciais, ambos em estudo (Fonte: modificado de Endo et al., 2019).

3. INVESTIGAÇÕES DIRETAS – CAMPANHAS DE SONDAJENS MISTAS

Foram realizadas duas campanhas de investigações diretas na região de interesse, descritas a seguir:

- 1ª Campanha: Executadas 80 (oitenta) sondagens, sendo 72 (setenta e duas) sondagens mistas, com um total de 2.240,48m e 08 (oito) sondagens destrutivas para coletas de amostras.
- 2ª Campanha: Foram executadas 51 (cinquenta e uma) sondagens mistas denominadas Prioridade 1 e Prioridade 2, em um total de 1811,20 metros (Figura 3)

Conforme mencionado, a área de implantação da PDER Tamanduá posiciona-se em contexto de rochas do embasamento cristalino, pertencentes ao Complexo Granítico-Gnáissico Guanhanês. Foi possível individualizar em superfície as seguintes unidades geológico-geotécnicas: solos de cobertura aluvionar e coluvionar, solos de alteração de gnaiss (solo residual, solo saprolítico e saprolito) e gnaiss são a levemente alterado.



LEGENDA PLANTA LOCAL:

- CURVAS DE NÍVEL – EQUIDISTÂNCIA 5m
- DRENAGEM EXISTENTE
- FALHA DE EMPURRÃO (ENDO, 2012)
- CONTATO GEOLÓGICO
- ARRANJO PDER TAMANDUÁ – PILHA TOTAL (PROJETO CONCEITUAL – TRACTEBEL)
- ARRANJO DA PDER TAMANDUÁ – PILHAS INICIAIS (PROJETO DETALHADO – BVP)
- LAL – LIMITE DA ÁREA LICENCIADA (LAL)

LITOLOGIAS

- DEPÓSITOS COLÚVIO-ALUVIONARES INDISCRIMINADOS: DEPÓSITOS SUPERFICIAIS RECENTES ASSOCIADOS A TERRAÇOS ALUVIONARES. ALUVIÕES EM GERAL APRESENTAM COLORAÇÃO ACINZENTADA A AMARELADA E GRANULOMETRIA EM GERAL SILTO-ARENOSA A SILTO-ARGILO-ARENOSA.
- COBERTURA COLUVIONAR: CAMADA SUPERFICIAL DE COLORAÇÃO EM GERAL MARROM A ALARANJADA, TEXTURA SILTO-ARGILOSA (COM OU SEM AREIA) A SILTO-ARENOSA COM OU SEM ARGILA. PRESENÇA DE GRÂNULOS E SEIOS DE QUARTZO DISPERSOS. ESTE MATERIAL OCORRE EM PRATICAMENTE TODA A ÁREA MAPEADA, COM ESPESSEZAS VARIANDO EM GERAL ENTRE 1,0 E 4,0 M (MÉDIA 2,5M), RECOBRINDO SOLOS DE ALTERAÇÃO (SOLO RESIDUAL OU SOLO SAPROLÍTICO) DE GNAISSES DO COMPLEXO GUANHÃES.
- SPT SONDAÇÃO A PERCUSSÃO EXISTENTE
- SM SONDAÇÃO MISTA EXISTENTE
- SE SONDAÇÃO EXPLORATÓRIA EXISTENTE

Figura 3 – Localização das investigações executadas na área de interesse, que compõem o atual Banco de Dados (Coordenadas UTM, Datum SIRGAS2000, Zona 23S. Ao fundo, ortofoto disponibilizada pela VALE).

4. INVESTIGAÇÕES INDIRETAS – CAMPANHA DE GEOFÍSICA

Foram realizadas investigações indiretas através dos métodos geofísicos elétrico (eletrorresistividade) e sísmico (MASW ativo - Multichannel analysis of surface waves), visando investigar as áreas próximas ao pé das Pilhas Iniciais. Foram propostas as execuções de 24 (vinte e quatro) linhas geofísicas, totalizando cerca de 6.305 m para cada método.

4.1. Eletrorresistividade (IE2D)

O método de Eletrorresistividade consiste em medir as variações na resistividade elétrica dos materiais presentes na subsuperfície, utilizando um sistema composto por quatro eletrodos AMNB conectados ao solo. A técnica baseia-se na mensuração da resistência à passagem de corrente elétrica entre dois eletrodos de corrente (A e B), que transmitem a corrente elétrica (I) para o interior do terreno, enquanto os eletrodos de potencial (M e N) medem a diferença de potencial elétrico (ΔV) gerada entre eles.

Por meio das leituras de resistividade ao longo de uma linha, torna-se possível caracterizar tanto a variação vertical quanto lateral das resistências elétricas do terreno. Essa análise utiliza a técnica conhecida como Imageamento Elétrico Bidimensional (IE2D), que permite a construção de um perfil geofísico detalhado. Nesse perfil, a distribuição de resistividade é avaliada em relação à profundidade e lateralidade do subsolo, auxiliando na identificação de diferentes camadas geológicas e suas propriedades, como a presença de água, minerais, características do solo ou rocha, entre outros aspectos.

Nessa campanha foram executadas 24 (vinte e quatro) linhas de eletrorresistividade, com o emprego do arranjo Schlumberger, com espaçamentos variando de 2,5m a 5,0m e extensão variando de 135m a 635m totalizando um total de 6.543m, conforme Figura 4.

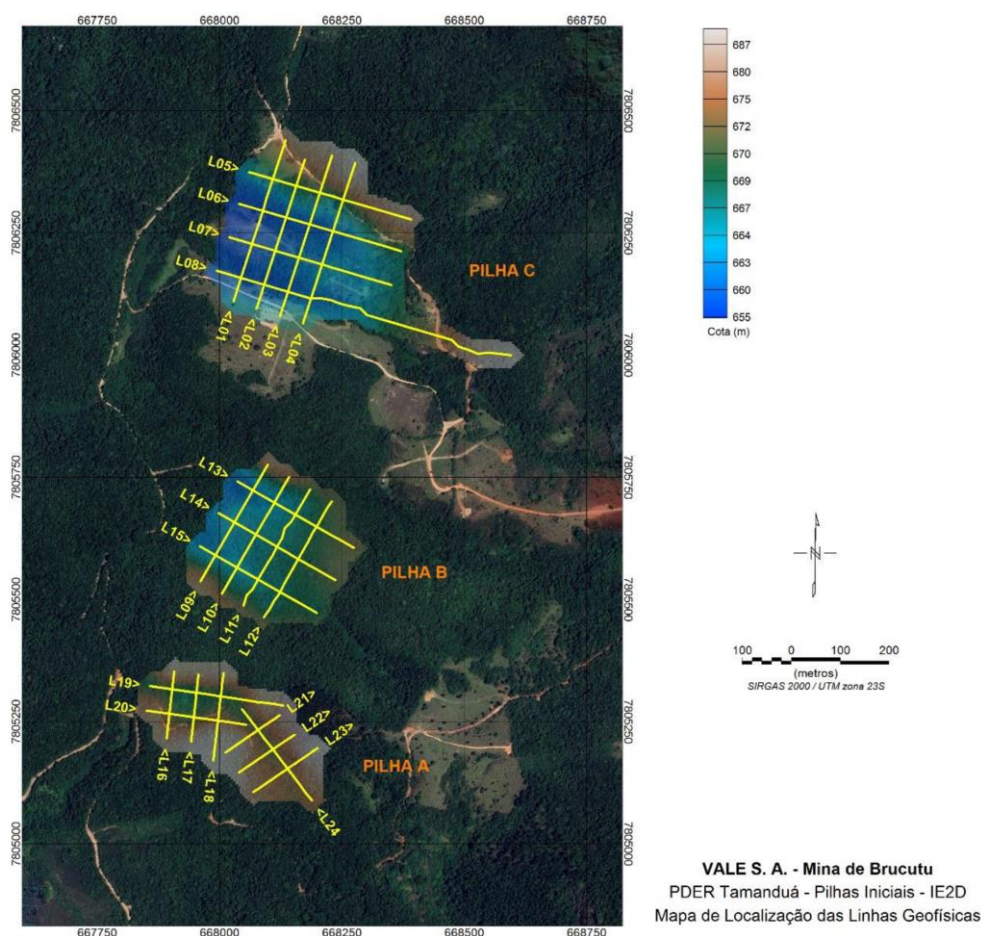


Figura 4 – Localização das linhas geofísicas levantadas através do método da Eletrorresistividade (Fonte: RL_ENG_VALE_MINA DE BRUCUTU_PDER TAMANDUÁ_PILHAS INICIAIS_IE2D=0).

4.1.1. Interpretação dos dados

A aquisição dos dados foi realizada empregando o método de Eletorresistividade, com a aplicação da técnica de Imageamento Elétrico Bidimensional (também denominada Tomografia Elétrica 2D), utilizando o arranjo Schlumberger. Para os levantamentos, foi utilizado o resistímetro modelo Supersting R8IP, fabricado pela AGI Advanced Geosciences Inc. A modelagem e inversão dos dados foram efetuadas por meio do software RES2DINV, desenvolvido pela Geotomo Software Inc. Os produtos finais, como seções georreferenciadas, modelos tridimensionais de resistividade e mapas de resistividade, foram gerados com o auxílio do Oasis montaj.

De maneira geral, observa-se que é possível correlacionar os valores de resistividade com certos tipos de materiais, conforme exposto na tabela abaixo (Tabela 1).

Tabela 1 – Resistividade características dos materiais (Fonte: RL_ENG_VALE_MINA DE BRUCUTU_PDER TAMANDUÁ_PILHAS INICIAIS_IE2D=0).

Água ou Rochas	Resistividade (Ohm.m)
Água do mar	0,2
Água de aquíferos aluviais	10-30
Água de fontes	50-100
Areias e cascalhos secos	1000-10000
Areias e cascalhos com água doce	50-500
Areias e cascalhos com água salgada	0,5-5
Argilas	2-20
Granitos alterados	100-1000
Granitos sãos	1000-10000

Nas análises realizadas, foi possível identificar principalmente o topo rochoso e regiões saturadas, que se apresentam condizentes com as investigações diretas (sondagens mistas) executadas na área dos levantamentos. Podemos observar o levantamento das linhas 16 a 24, na Figura 5.

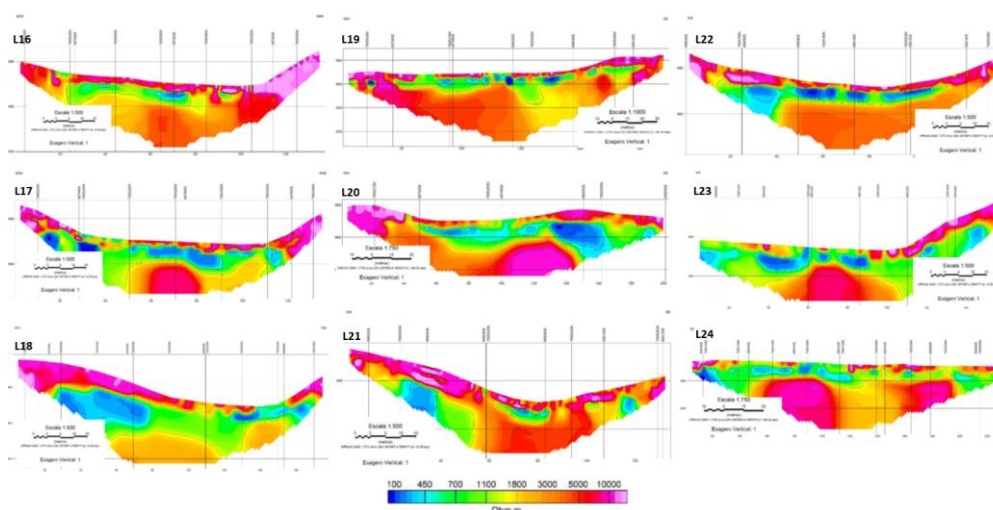


Figura 5 – Seções de resistividade das linhas 16 a 24, referentes à Praça A das Pilhas Iniciais da PDER Tamanduá (Fonte: RL_ENG_VALE_MINA DE BRUCUTU_PDER TAMANDUÁ_PILHAS INICIAIS_IE2D=0).

Em geral, observam-se cores mais quentes em pequenas profundidades, com valores de resistividade predominantemente superiores a 1000 Ohm.m., um padrão também verificado nas sondagens, que indicaram a presença de um topo rochoso mais raso na área de interesse.

Ao integrar os dados fornecidos pela empresa Executora no modelo geológico-geotécnico tridimensional, constata-se a proximidade das linhas das seções com as sondagens mistas SM-TE-C-16, SM-TE-C-08, SM-63A, SM-BVP-01 e SM-TE-C-09, como ilustrado na Figura 6. Essas investigações confirmam a ocorrência de um topo rochoso mais elevado, conforme indicado na Figura 7.

Os valores de resistividade atribuídos a cada material foram interpretados de acordo com a Tabela 1, permitindo a delimitação do topo rochoso com base nesses parâmetros, que se mostraram consistentes com as sondagens mistas realizadas na área.

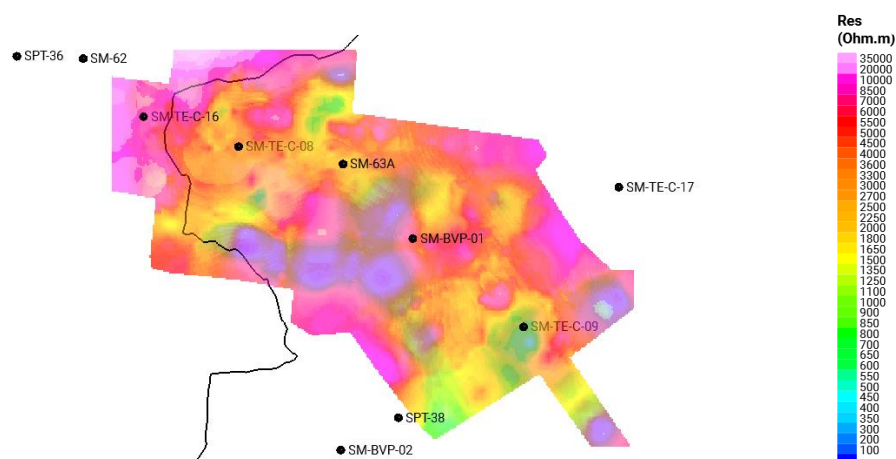


Figura 6 – Vista em planta do voxel. A vista é observada no software Leapfrog Works, com as sondagens utilizadas na modelagem tridimensional. A linha preta representa o limite do arranjo da área de interesse.

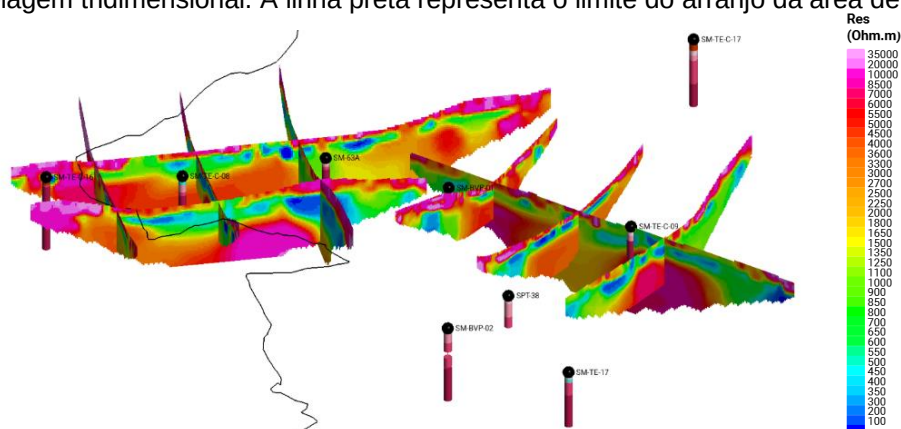


Figura 7 – Vista S-N dos perfis IE2D. Observa-se cores mais quentes ocorrendo de maneira mais superficial, evidenciando um topo rochoso mais raso.

4.2. MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)

O método MASW (Multi-Channel Analysis of Surface Waves) é uma técnica geofísica utilizada para analisar a propagação de ondas S em função da profundidade, com o objetivo de caracterizar as propriedades dinâmicas do subsolo. Para isso, dispõe-se um conjunto de geofones ao longo da superfície do solo, organizados em uma linha ou perfil, que captam as ondas sísmicas geradas por uma fonte de energia, como impactos ou explosões controladas.

Durante a aquisição dos dados, os geofones registram os tempos de chegada das ondas de superfície em diferentes pontos ao longo do perfil, permitindo a construção da curva de dispersão. Essa curva relaciona a velocidade de propagação das ondas com a frequência, proporcionando informações detalhadas sobre a estrutura do subsolo em termos de profundidade.

Com a análise dos dados obtidos, é possível realizar uma inversão que gera um perfil de velocidades das ondas de superfície. Esse perfil permite avaliar a resistência do solo à deformação e determinar propriedades geotécnicas, como a rigidez e a espessura das camadas do subsolo.

No caso deste estudo, foram realizadas 24 linhas coincidentes com as utilizadas na eletrorresistividade, totalizando uma extensão de 6.280 metros. O avanço entre os lances foi de 20 metros, e o espaçamento entre os geofones foi de 2,5 metros. Para cada lance, foram realizados dois registros com a fonte de energia posicionada a 5 metros e a 20 metros do primeiro ou último geofone, dependendo da área disponível. O levantamento utilizou o método ativo, empregando uma marreta de 5 kg como fonte de energia.

Os dados de campo obtidos foram inicialmente processados em SIRGAS 2000, conforme a topografia realizada. Entretanto, os resultados finais, gerados com o software Geosoft Oasis Montaj, estão disponíveis em dois datums: SIRGAS 2000 e SAD 69(96). Para cada datum, foi elaborado

um projeto no Geosoft Oasis Montaj, contendo seções georreferenciadas de cada linha, voxels e mapas obtidos por inversão 2D, que possibilitam a visualização da variação da velocidade da onda S.

De maneira geral, observa-se que é possível correlacionar as velocidades da Onda S com o tipo de material. Assim, utilizando como referência a compartimentação de BSSC (2003), é possível estabelecer a seguinte correlação aproximada:

- Velocidade muito baixa (inferior a 180 m/s): solo residual, aterro pouco compactado;
- Velocidade baixa (entre 180 e 360 m/s): solo, aterro compactado, rocha muito decomposta;
- Velocidade intermediária (entre 360 e 760 m/s): rocha decomposta e/ou fraturada;
- Velocidade alta (entre 760 e 1500 m/s): rocha pouco decomposta e/ou pouco fraturada;
- Velocidade muito alta (superior a 1500 m/s): rocha sã compacta.

4.2.1. Interpretação dos dados

As análises realizadas permitiram identificar a compartimentação mencionada anteriormente, com base nas sondagens localizadas próximas ou diretamente sobre as linhas geofísicas realizadas.

Os materiais de menor resistência, caracterizados por valores reduzidos de Nspt (geralmente ≤ 8 golpes), apresentam velocidades de onda de cisalhamento (V_s) inferiores a 180 m/s. De forma similar, à medida que o número de golpes aumenta, observa-se um incremento nos valores de V_s . É importante destacar que esses valores representam uma faixa de ocorrência para cada tipo de material, não sendo valores absolutos. Além disso, podem ser identificados outliers devido à interpolação dos dados ou a possíveis imprecisões durante o levantamento.

As linhas geofísicas situadas próximas às sondagens foram analisadas, permitindo a calibração das faixas de cores utilizadas para identificar os diferentes materiais. A escala de cores é gradativa, iniciando com o azul para materiais com baixos valores de V_s e transitando até o magenta conforme os valores de V_s aumentam.

Tabela 2 – Valores médios e outliers observados nos materiais compartimentados, tendo como base o modelo geológico-geotécnico tridimensional e as sondagens executadas na área e utilizadas na modelagem

Material	V_s médio	Outliers
Colúvio	145 até 230 m/s	Até 270 m/s
Aluvião	<140 m/s	Até 190 m/s
Solo residual de gnaiss	150 até 290 m/s	Até 350 m/s
Solo saprolítico de baixa resistência de gnaiss	140 até 190 m/s	Até 290 m/s
Solo saprolítico de gnaiss	190 até 350 m/s	Até 450 m/s
Saprolito de gnaiss	250 até 500 m/s	Até 600 m/s
Gnaiss (rocha)	>500 m/s	-

Conforme observado no modelo geológico-geotécnico tridimensional e também no banco de dados que subsidiou a confecção do modelo, na região de interesse o topo rochoso é encontrado mais raso, fato que também pode ser percebido nos perfis elaborados pela Geofísica, encontrados na figura 8.

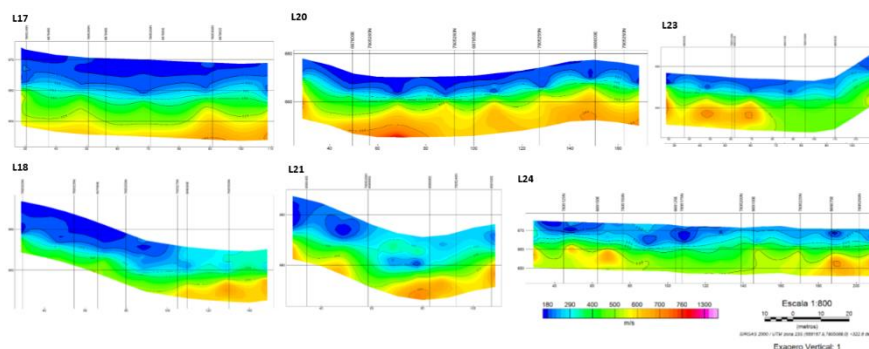


Figura 8 – Seções de velocidades da Onda S em algumas linhas (Fonte: RL_ENG_VALE_MINA DE BRUCUTU_PDER TAMANDUÁ_PILHAS INICIAIS_MASW=0).

Ao inserir os dados fornecidos pela empresa Executora no modelo geológico-geotécnico tridimensional, verifica-se a presença das sondagens mistas SM-TE-C-16, SM-TE-C-08, SM-63A, SM-BVP-01 e SM-TE-C-09 próximas às linhas das seções, como ilustrado na Figura 9. Essas investigações confirmam a ocorrência de um topo rochoso mais elevado, conforme representado na Figura 10.

As cores mais frias indicam materiais de menor competência, como colúvio e solo saprolítico de baixa resistência, observados próximos à sondagem SM-TE-C-08. Já as cores mais quentes destacam materiais de maior competência, como identificado na SM-63A, onde o topo rochoso foi localizado a uma profundidade de 5,50 metros.



Figura 9 – Vista em planta do voxel. A vista é observada no software Leapfrog Works, com as sondagens utilizadas na modelagem tridimensional. (Fonte: RL_ENG_VALE_MINA DE BRUCUTU_PDER TAMANDUÁ_PILHAS INICIAIS_MASW=0).

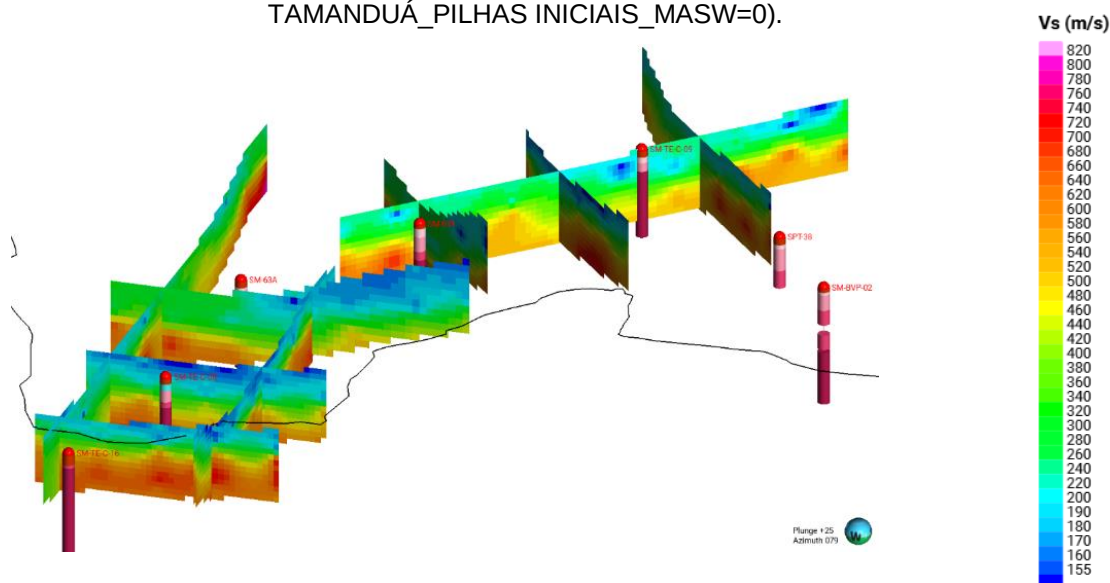


Figura 10 – Vista W-E dos perfis 2D. Observa-se cores mais quentes ocorrendo de maneira mais superficial, evidenciando um topo rochoso mais raso.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises provenientes dos levantamentos geofísicos revelaram-se satisfatórias e em consonância com os resultados das investigações diretas (sondagens mistas) realizadas na área

de implantação da Estrutura. Os valores de resistividade apresentaram uma correspondência consistente com os níveis d'água registrados e o topo rochoso identificado.

Além disso, os valores de Vs obtidos nos perfis MASW permitiram uma compreensão mais aprofundada do comportamento dos materiais, com destaque para a delimitação mais precisa de materiais de menor competência (valores de Vs < 150 m/s) no modelo tridimensional. Tais resultados foram fundamentais para validar o tratamento de fundação projetado, já que os menores valores de Vs coincidem com as áreas de escavação.

Por fim, destaca-se que os dados provenientes das linhas geofísicas foram incorporados ao modelo geomecânico 3D, conferindo maior confiabilidade aos estudos relacionados à fundação da Estrutura.

Destaca-se que as Sondagens Geofísicas corresponderam a 12% dos custos totais das sondagens diretas realizadas. Considerando a confiabilidade dos dados obtidos por meio dessas sondagens, seria possível reduzir as sondagens diretas em pelo menos 50%, o que resultaria em uma economia de aproximadamente 45%, mesmo incluindo os custos das Sondagens Geofísicas.

REFERÊNCIAS

Building Seismic Safety Council (BSSC). *NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures: FEMA 450*. Washington, D.C.: Federal Emergency Management Agency, 2003.

Endo, I.; Delgado, C. E. R.; Oliveira, M. M. F. de; Zapparoli, A. de C.; Carlos, D. U., Galbiatti, H. F.; Castro, P. de T. A.; Suita, M. T. de F.; Barbosa, M. S. C.; Lana, C. E.; Moura, L. G. B. de. 2019b. *Estratigrafia e Arcabouço Estrutural do Quadrilátero Ferrífero: Nota Explicativa do Mapa Geológico do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil*. Escala 1:150.000. Ouro Preto, Departamento de Geologia da Escola de Minas – UFOP - Centro de Estudos Avançados do Quadrilátero Ferrífero: www.qfe2050.ufop.br.

OLIVEIRA, Natália Valadares de; ENDO, Issamu; OLIVEIRA, Luiz Gabriel Souza de. Geometria do Sinclinal Gandarela baseada na deconvolução Euler 2D e 3D: Quadrilátero Ferrífero (MG). *Revista Brasileira de Geofísica*, São Paulo, v. 23, n. 3, p. 221–232, 2005. www.scielo.br/j/rbg/a/ryYSrBRSLdgTRDHztLg8Wg/.

AUGUSTI, Rafael. *Sondagem a percussão com medidas de SPT e torque: metodologia de campo e aplicações em obras de engenharia*. Itatiba: Universidade São Francisco, 2004. <https://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/585.pdf>

MOURA, Helyelson P.; MALAGUTTI FILHO, Walter. Métodos de eletrorresistividade e de polarização induzida aplicados na área de disposição de resíduos urbanos: Aterro controlado de Rio Claro – SP. *Revista Geociências*, v. 22, ed. especial, p. 97–108, 2003. https://revistageociencias.com.br/geociencias-arquivos/22_especial/12.PDF

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL (ABGE). *Métodos geofísicos em geotecnia e geologia ambiental*. São Paulo: ABGE, 2010. <https://www.abge.org.br/downloads/revistas/metodos.pdf>