



APLICAÇÃO DO MÉTODO DE SÍSMICA DE REFRAÇÃO RASA PARA A IDENTIFICAÇÃO DO TOPO GRANÍTICO NO MUNICÍPIO DE TRACUATEUA (PARÁ)

Amanda de Souza Santos, FAGEOF/UFPA, Pedro Chira Oliva*, IECOS/UFPA, Ivnon José de Farias Lima, ESTACIO/PARÁ, Samuel da Costa dos Santos, PPBA/IECOS/UFPA.

Copyright 2017, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 15th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 31 July to 3 August, 2017.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 15th International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Abstract

In the Tracuateua city (Pará, Brazil), there exists the occurrence of a granite body that has been the subject of several scientific researches related to its geological context and the environmental impacts caused by the exploitation of the same. The exploitation of this body for gravel extraction, used in construction, is just over fifty years and is the main business investment in this city, having a useful life of 100 years of exploitation. In order to contribute to the knowledge concerning this granitic body, it has been applied the indirect method of shallow refraction seismic to investigate the occurrence and the depth in which is located the granite body near subsurface in a particular area of interest in the Tracuateua city and complement direct research studies already in place.

Introdução

Estudos geofísicos têm contribuído significativamente para o conhecimento do interior da Terra através das análises das medidas geofísicas que podem revelar como as propriedades físicas do meio variam vertical e lateralmente. As pesquisas também diferem em termos de escala, sendo essas investigações em escala global, com estudos que vão da crosta ao núcleo, ou voltadas à exploração de uma região localizada, para fins de engenharia ou outros propósitos.

Os métodos geofísicos embora sejam passíveis de ambiguidades e incertezas na interpretação, estes métodos proporcionam um meio relativamente rápido e barato na obtenção de informações sobre a litologia em subsuperfície (Kearey et al., 2009). Dentre estes, destacam-se os métodos sísmicos por fornecer uma imagem muito aproximada das estruturas geológicas em subsuperfície, detectando e delineando características locais de interesse potencial. A eficiência desse método abrange tanto a exploração de bens minerais quanto estudos ambientais e de engenharia.

Nogueira (2014) realizou um levantamento de dados 2D de sísmica de refração rasa e eletrorresistividade em uma linha no depósito de minério de ferro de N4WS, localizado na Província Mineral de Carajás. Ele

determinou através da eletrorresistividade a existência de uma zona de maior resistividade ($>3937 \text{ ohm.m}$), interpretada como sendo minério de ferro e uma região de resistividade intermediária ($816 - 2330 \text{ ohm.m}$) interpretada como rochas alteradas. Nos resultados da sísmica, o autor gerou um modelo de duas camadas, sendo a primeira camada interpretada como horizonte de rochas alteradas, e a segunda camada como o horizonte de rochas preservadas.

Seimetz (2012) aplicou os métodos geofísicos de eletrorresistividade e sísmica de refração rasa para elaborar um perfil geológico ao longo de toda a Asa Norte do Plano Piloto de Brasília. Nos resultados observaram-se três camadas geofísicas distintas: 1) Camada superficial com baixa resistividade elétrica (variando de 100 a $816 \text{ } \Omega.m$) e baixa velocidade da onda P (média de 430 m/s), interpretada como o pacote de solo/aterro; 2) Camada intermediária com alta resistividade elétrica (acima de $2000 \text{ } \Omega.m$) e alta velocidade sísmica (média de 1440 m/s), interpretada como um pacote saprolitizado de metassiltitos argilosos e quartzitos da Unidade S do Grupo Paranoá; 3) Camada mais profunda, com resistividade elétrica média de $300 \text{ } \Omega.m$, interpretada como os metassiltitos argilosos menos alterados da Unidade S do Grupo Paranoá.

No município de Tracuateua (Pará), local do presente estudo, existe a ocorrência um corpo granítico que vem sendo tema de diversas pesquisas científicas associadas ao seu contexto geológico e aos impactos ambientais causados pela exploração do mesmo. Estudos envolvendo a formação e datações das estruturas geológicas presentes na área fazem parte do conjunto de temas que atraem os pesquisadores. A exploração deste corpo rochoso para a extração de brita, utilizada em construção civil, ocorre a pouco mais de cinquenta anos e é o principal investimento empresarial no referido município, possuindo vida útil de 100 anos de exploração.

Com a finalidade de contribuir com o conhecimento referente à ocorrência e localização na subsuperfície do corpo granítico, é que foi aplicado o método de investigação indireto da sísmica de refração no presente estudo. Este método complementar estudos diretos existentes no local, como furo de sondagens cuja atuação é mais pontual quando comparada com a sísmica de refração, que podem ser de aplicação mais abrangente que os métodos diretos.

Materiais e Métodos

Área de estudo

A área de estudo está localizada no município de Tracuateua, situado na Mesorregião do Nordeste do estado do Pará (Figura 1). O referido município pertence à microrregião Bragantina e está localizado a 169 quilômetros da cidade de Belém (Pará), com as coordenadas geográficas $01^{\circ}58'12,48''S$ e $46^{\circ}56'29,97''O$, ocupando uma área de $936,1 \text{ km}^2$ (IBGE, 2010).

O relevo da área de estudo é pouco acidentado com desníveis não superiores a 20 m. O clima: é tropical, apresentando uma temperatura média anual de $26,1^{\circ}C$ e uma pluviosidade média de 2552 mm.



Figura 1. Município de Tracuateua no mapa do estado do Pará. Modificado a partir do Google Maps.

A área escolhida para a realização deste trabalho fica na antiga pedreira Mirasselas, nas adjacências do rio Quatipuru, no povoado de Pedreira (Figura 2). Esta área é um setor de extração desativado devido à sua inundação através das fraturas provenientes do uso dos explosivos para a extração do granito ou por alívio de pressão, que facilitou a infiltração da água do Igarapé Açaiteua, que circunda a área, tornando a jazida uma grande e profunda piscina e inviabilizando a permanência de atividades exploratórias. Geograficamente suas coordenadas UTM são 280945.00 m E e 9882683.00 m.

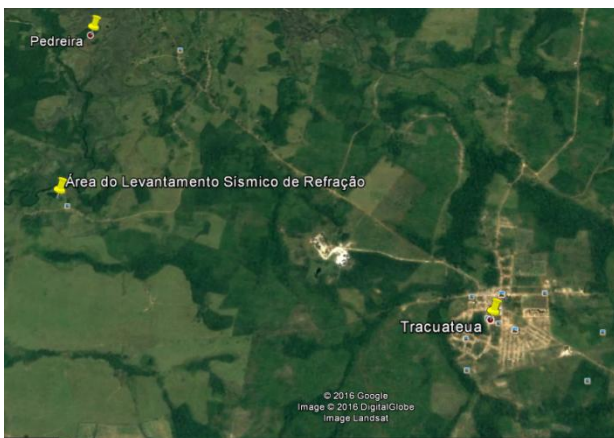


Figura 2- Imagem de satélite de parte do município Tracuateua-Pa, com demarcação da área de aquisição sísmica de refração. Adaptado do Google Earth.

Os granitos explorados no local fornecem brita para a construção civil, gerando uma média mensal de nove mil metros cúbicos da matéria prima, cujas técnicas utilizadas para a extração deste material são precárias (Ferreira,1979).

Geologia local

Aspectos geológicos do município de Tracuateua vêm mobilizando vários pesquisadores para o desenvolvimento de trabalhos de grande contribuição em diversas áreas da comunidade científica. Geologicamente a área caracteriza-se por apresentar ocorrência de rochas Graníticas do Pré-Cambriano, em meio às coberturas fanerozóicas (Ferreira,1979).

O Granito Tracuateua ocupa uma parte da bacia Tracuateua-Quatipuru, tendo como extensão cerca 282 km^2 correspondente a 20% da composição geológica do local (Leite et al., 2007).

Na região encontram-se duas unidades geotectônicas: o Cráton de São Luís e o cinturão de cisalhamento Gurupi, separadas pela Zona de Cisalhamento Tentugal (Figura 3). Sua granitogênese indica um ambiente geotectônico de interações colisionais entre arcos de ilhas e bacia vulcanossedimentares, com núcleos arqueanos, podendo ser correlacionada ao evento Transamazônico. Datações realizadas para essa rocha revelaram idade em torno de 2,0 Ga, correspondente à idade Paleoproterozóica (Palheta et al., 2009).

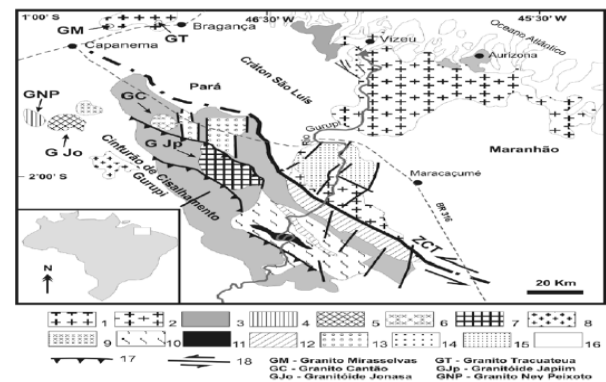


Figura 3- Distribuição espacial das unidades litoestratigráficas da região do Gurupi (nordeste do Pará e Noroeste do Maranhão). A litologia do tipo 1 está associada ao Granito Tracuateua. Adaptado de Palheta et al. (2009).

A melhor exposição do Granito Pré-Cambriano encontra-se nos redores da cidade (Figura 4). É classificado como um material mecanicamente homogêneo e frágil, cujo regime de fraturamento é rúptil em diferentes estágios. Este corpo possui rochas de colorações que variam de róseo, cinza rosado a cinza esbranquiçado. Possui uma textura isotrópica, fanerítica, hololeucocrática a leucocrática, com granulometria variando de média a grossa. Constituídas por quartzo, microlina, albita-oligoclásio, muscovita e biotida. Como acessórios ocorrem zircão, apatita e minerais opacos (Palheta et al., 2009).



Figura 4- Foto do afloramento do Granito Tracuateua na jazida “Santa Mônica”.

Metodologia

O método sísmico de refração rasa foi utilizado neste trabalho com o propósito de investigar a ocorrência da rocha granítica a partir de um modelo de distribuição velocidade para obter a profundidade.

Baseado no contexto geológico local, tratado anteriormente, foi definido a área de aquisição e o posicionamento da linha sísmica (Figura 5). A direção do perfil foi definida com base em observações in situ, seguindo uma possível direção de mergulho do corpo rochoso.



Figura 5- Foto da linha do levantamento de sísmica de Refração rasa no local de estudo.

O equipamento utilizado na aquisição sísmica (Figura 6) é um módulo de aquisição (sismógrafo), modelo *Geode* da marca Geometrics contendo 24 geofones de 40 Hz, uma marreta de 10 kg utilizada como fonte sísmica conectada a um sensor de impacto (trigger) para a marcação do tempo inicial e uma bateria de 12 volts. Também foi utilizado um aparelho de Sistema de Posicionamento Global (GPS) para o georreferenciamento dos pontos de tiro do levantamento.



Figura 6- Foto do equipamento utilizado na aquisição sísmica de refração rasa.

A campanha foi iniciada tomando como referência o primeiro geofone, ficando na posição zero. A partir dele, as posições de tiro foram definidas como: -25; -5; 57,5; 120 e 140 metros (Figura 7). Os tiros realizados nas posições -25 e 140 são os chamados *tiros Offset*, que tem como requisito registrar as refrações associadas a camadas mais profundas. Os tiros próximos e entre os detectores mapeiam por meio de perfis reversos a geometria dos refratores rasos.

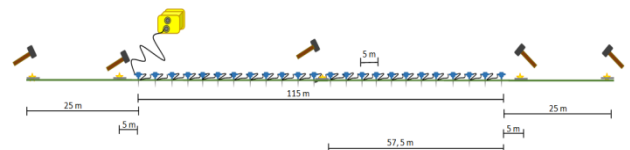


Figura 7- Configuração do arranjo utilizado na aquisição sísmica de refração.

Os registros de cada tiro foram devidamente salvos no formato SEG-2 para posteriormente ser processado.

Processamento dos Dados Sísmicos

Para o processamento dos dados obtidos por meio do método de sísmica de refração rasa, utilizou-se o pacote de programas *SeisImager-2D* (OYO Corporation).

A primeira fase do processamento compreendeu a leitura dos dados no formato SEG2, apresentando os sismogramas resultantes de cada tiro. Após a leitura e abertura dos arquivos, o processamento dos dados de sísmica de refração rasa seguem os passos seguintes: aplicação dos filtros passa-alta e o filtro passa baixa (Figura 8).

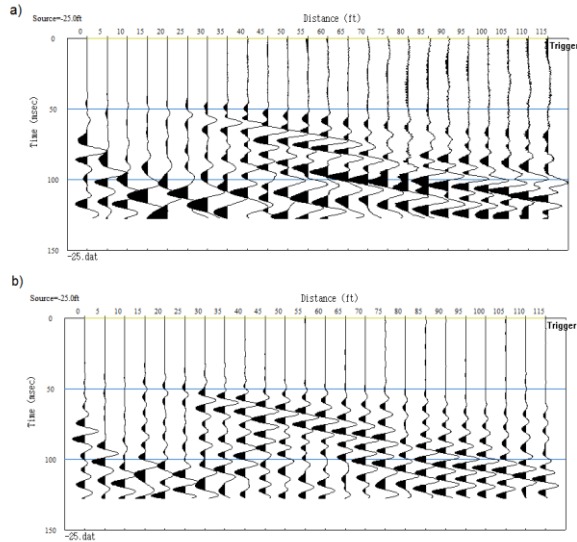


Figura 8- Resultado da aplicação do filtro passa alta e do filtro passa baixa no sismograma gerado pela fonte posicionada a -25 da linha de aquisição. a) Dado bruto. b) Dado filtrado.

A continuação foram marcadas as primeiras chegadas das ondas para os sinais de cada geofone, escolhendo o tempo que melhor representa a chegada da onda direta e das ondas refratadas. (Figura 9).

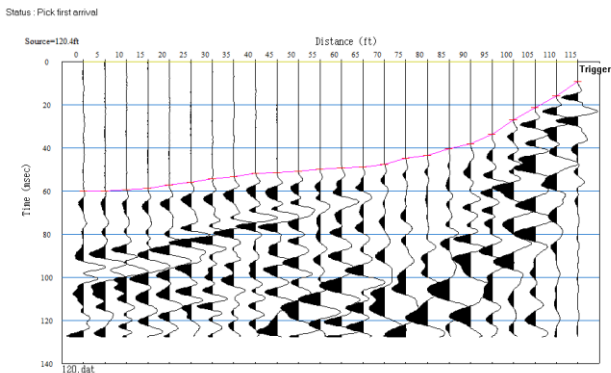


Figura 9- Sismograma resultante da fonte posicionada em 120m da linha sísmica. A linha rosa indica o traço associado às primeiras chegadas de forma de onda.

Os tempos das primeiras quebras foram utilizados para gerar um modelo em duas dimensões da distribuição da

velocidade em profundidade. Também foi aplicada a correção estática. As variações de inclinação ao longo da linha formada pelas primeiras chegadas foram marcadas a fim de se distinguir quais se referem a cada forma de onda (Figura 10).

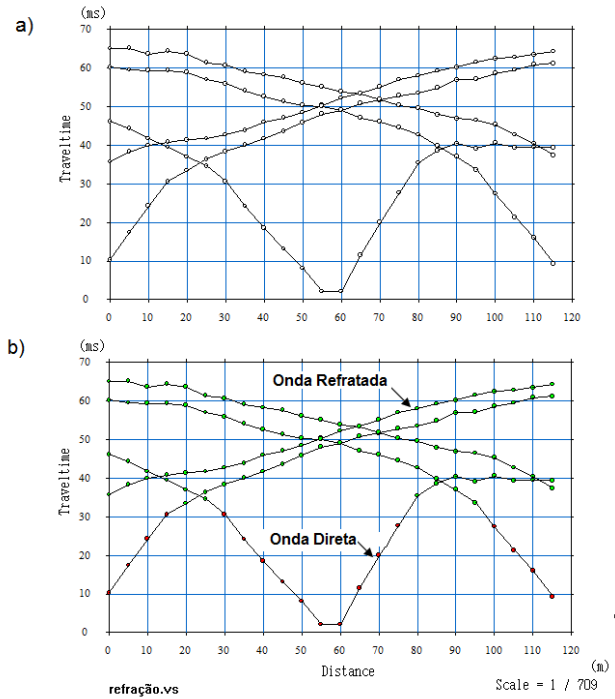


Figura 10- a) Curva tempo versus distância após marcação das primeiras chegadas. b) Curva tempo versus distância com indicações das formas de onda, vermelho para ondas diretas e verde para ondas refratadas.

A continuação foi realizada a inversão dos tempos de trânsito para obter o modelo de velocidades. Finalmente foi construído o modelo geológico da subsuperfície da área de estudo.

Resultados e discussões

Na etapa do processamento dos dados após aplicação da inversão dos tempos de trânsito gerou-se um modelo de velocidades em profundidade constituído por duas camadas com forte contraste de velocidade (Figura 11).

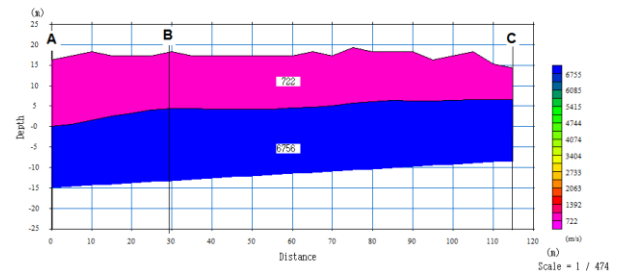


Figura 11- Modelo de velocidade em profundidade obtido com a inversão de tempo de trânsito. O trecho ABC foi

definido para referenciar as discussões a cerca do mergulho.

Neste modelo de duas camadas, a velocidade estimada da primeira camada foi em torno de 722m/s e a da segunda camada em torno de 6.756 m/s. A topografia um tanto acidentada no topo da camada de baixa velocidade foi atribuída a partir das informações de elevação anexadas durante o processamento. Para este ultimo modelo, o valor do erro de inversão foi de 0,016%, que é um valor muito bom segundo as considerações para a inversão.

A localização do topo granítico em relação ao nível do mar foi de aproximadamente 6,5 m de profundidade no ponto final (ponto C) do modelo, e na outra extremidade do perfil a localização do topo deste corpo granítico foi de 0 m em relação ao nível do mar.

Também foi identificado que o topo da rocha granítica mergulha suavemente do trecho que vai de C para B (na Figura 11), aproximadamente 2,05°, e tem um mergulho mais acentuado no trecho que vai de B para A, aproximadamente 9,2°.

O modelo de duas camadas foi interpretado com base nas velocidades médias das camadas e nas observações *in situ*, por tratar-se de uma área de afloramento e de exploração do granito. As camadas de baixa velocidade estão associadas a pacotes de sedimentos inconsolidados, com alto grau de escarificabilidade. Mais precisamente, este valor 722 m/s é relacionado à areia seca, cuja variação de velocidade da onda P neste tipo de material esta entre 200 e 1000 m/s (Kearey *et al.*, 2009).

A velocidade média das ondas compressivas em rochas graníticas gira em torno de 5000 a 6000 m/s, porém, esta velocidade pode atingir valores maiores ou menores, sendo esta variação associada a fatores como a pressão a qual a rocha está submetida ou devido aos minerais que a constituem. É observado que, de uma maneira geral, o modelo sísmico acompanha a tendência da geologia da área, de forma que a camada com velocidade de 6.756 m/s foi correlacionada à rocha granítica.

A Figura 12 mostra um modelo geológico da subsuperfície proposto para linha de aquisição sísmica a partir da correlação dos resultados obtidos com as observações supracitadas.

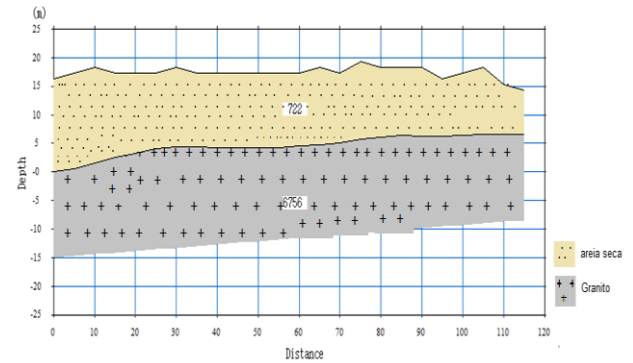


Figura 12- Modelo geológico da subsuperfície proposto para a linha sísmica investigada no Município de Tracuateua- Pa.

Conclusão

Os resultados obtidos com o método sísmico de refração rasa utilizado neste trabalho tiveram uma correlação satisfatória com o histórico geológico da área e com as observações de campo. Foi possível criar um modelo geológico e geofísico condizente com a litologia *in situ*.

O método gerou um modelo 2-D de duas camadas com velocidades distintas e contrastantes (722 e 6.756 m/s), onde cada camada foi interpretada em termos de velocidade, sendo a primeira de material não consolidado, possivelmente areia seca, e a segunda de rocha cristalina, como o granito.

Por meio do modelo de velocidade em profundidade, resultante do processamento dos dados sísmicos de refração rasa, foi possível identificar a ocorrência do Granito-Tracuateua e estimar sua profundidade, que variou suavemente ao longo da linha.

O topo do corpo granítico foi estimado a uma profundidade de 16m na posição inicial da linha sísmica (0 m), e 7,5 metros na posição final (115 m).

O corpo granítico apresentou dois mergulhos ao longo do perfil, um de aproximadamente 2,05° e outro de 9,2° aproximadamente.

Neste trabalho a utilização dos parâmetros adequados, como por exemplo, a cobertura do arranjo fonte-receptor, o espaçamento entre geofones, o limite golpe por tiro considerado, e etc., permitiram a modelagem geológica e geofísica da área de estudo ser condizente e próximo do contexto geológico do local de estudo.

Referências

FERREIRA, J. B., 1979. Métodos Geofísicos aplicados ao Mapeamento geológico numa área da região Bragantina – Pará. (Dissertação de Mestrado) Universidade Federal do Pará. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geofísicas e Geológicas.

KEAREY, P., BROOKS, M., IAN, H., 2009. Geofísica de exploração. Tradução de Maria Cristina Moreira Coelho. São Paulo: Oficina de textos, 2009. 438 p. Original inglês.

IBGE, 2010. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. Sinopse do censo demográfico 2010. Disponível em: <www.censo2010.ibge.gov.br>. Acesso em: 29 de outubro de 2015.

LEITE, W., ASP,N.; BRITO, R., PEREIRA, K., 2007. Influência da herança geológica e preservação da vegetação na sedimentologia de um sistema fluvial e estuarino do nordeste paraense. Associação Brasileira de Estudo do Quaternário, ABQUA.

NOGUEIRA, P. V., 2014. Integração de sísmica de refração e eletrorresistividade para elaboração de um modelo 2D do depósito de ferro n4ws do complexo serra norte, Carajás-PA. Dissertação de Mestrado -Instituto de Geociências, Universidade de Brasília - UnB, Brasília/DF, Brasil, 78p.

PALHETA, E. S. de M.; ABREU, F. de A. M., MOURA, C. A. V., 2009. Granitóides Proterozóicos Como Marcadores da Evolução Geotectônica da Região Nordeste do Pará, Brasil. Revista Brasileira de Geociências, dezembro de 2009.

SEIMETZ, E. X., 2012. Estudos Geofísicos ao Longo do Futuro Trecho Norte do Metrô de Brasília – Brasília. (Dissertação de Mestrado N°31) Universidade de Brasília- Instituto de Geociências.