

Emprego do método MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) em área urbana: um estudo na cidade de São Paulo

Claus N. Eikmeier, Fábio Taioli, Renato L. Prado

Universidade de São Paulo / Instituto de Geociências

clausne@usp.br

Resumo

Neste projeto foi realizado um estudo com o método MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) aplicando-o em uma área na cidade de São Paulo - SP com o objetivo de se obter o perfil de velocidades das ondas S. Próximo ao local onde foram adquiridos os dados MASW foi realizado há anos um ensaio sísmico *crosshole* executado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT visando obras da Linha 4 do Metrô com o mesmo propósito. Neste trabalho os dados sísmicos *crosshole* foram comparados com os resultados obtidos com o método MASW com o objetivo de se avaliar as potencialidades e limitações do MASW para a investigação geotécnica em áreas urbanas, uma vez que o valor das velocidades das ondas S é um importante parâmetro para a análise de estruturas (permitindo a obtenção do módulo de rigidez dinâmico).

Os dados foram processados com os *softwares* livres, Seismic Unix, Geopsy e Dinver. Os últimos dois são ainda pouco conhecidos no Brasil, tendo, portanto, este trabalho também o objetivo de apresentar novas ferramentas de processamento e interpretação de dados sísmicos à comunidade geocientífica.

Confrontado com o método *crosshole*, o método MASW mostrou-se de fácil execução, pouco dispendioso, mas menos preciso. Considerando-se as incertezas envolvidas, os resultados obtidos com o MASW convergiram para os obtidos com o método *crosshole*, demonstrando-se um grande potencial do método MASW para a investigação geotécnica em áreas urbanas.

Palavras Chaves: MASW, ondas superficiais, perfil de velocidades.

Abstract

The MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) method was applied in an urban area of Sao Paulo city in order to obtain a velocity profile of S waves. The results were compared with the ones obtained by crosshole seismic test, which were executed many years before by the Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT for the subway company of Sao Paulo. In this work the results obtained by both methods were compared with the objective of evaluating the potential and limitations of MASW for geotechnical investigation in urban areas, since the value of the velocities of S waves is an important parameter for the analysis of structures (allowing the dynamic stiffness modulus calculation).

The data were processed with the free softwares, Seismic Unix, Geopsy and Dinver. The last two are still little-known by the geophysical community in Brazil, thus this work also aims at presenting new tools for processing and interpretation of seismic data.

The results obtained with the MASW tend towards those obtained with the crosshole method, demonstrating a great potential of MASW method for geotechnical investigation in urban areas.

Key words: MASW, surface wave, velocity profile.

Introdução

A obtenção do módulo de cisalhamento dinâmico (G_{din}) é importante para diversos projetos da engenharia geotécnica como, por exemplo, nos cálculos de fundações sujeitas a esforços dinâmicos. O G_{din} é obtido a partir das densidades dos materiais e das velocidades de propagação das ondas S (V_s). Dos métodos sísmicos empregados com o propósito de determinar a V_s o ensaio sísmico entre furos (*crosshole*) é o que mais se destaca (Prado & Shukowsky, 2000). O ensaio amostra volumes expressivos do maciço e determina com precisão as velocidades das ondas S. No entanto, apresenta desvantagens, pois é necessária a execução e revestimento de pelo menos dois furos de sondagem, tornando-o dispendioso.

Assim, o método sísmico de Análise Multicanal de Ondas Superficiais (*Multichannel Analysis of Surface Waves - MASW*), apresentado pelo Serviço Geológico do Kansas – KGS (Xia et al., 1999; Park et al., 1999), tornou-se uma opção bastante interessante para o mapeamento do campo de velocidades da onda S. O MASW incorpora os conceitos da técnica Análise Espectral de Ondas Superficiais (*Spectral Analysis of Surface Waves - SASW*) empregada na engenharia civil (Stokoe et al., 1994), permitindo estimar modelos 1D de velocidades sísmicas que, integrados, podem gerar uma seção contínua 2D do campo de velocidades das ondas S nos estratos da sub-superfície rasa.

Características específicas das ondas superficiais, tais como a facilidade para a sua geração e grande amplitude, possibilitam a aplicação da técnica MASW em áreas onde outros métodos geofísicos se mostram inadequados, como áreas urbanas ou com elevado nível de ruído.

Por se tratar de um método relativamente novo, sua aplicação ainda não é muito difundida no Brasil (Lima Júnior et al., 2012), o que tornam importantes os estudos comparados de sua aplicação em diferentes situações geológicas e geotécnicas.

Objetivos

Neste projeto foi realizado um estudo com o método MASW aplicando-o em uma área densamente edificada e com alto nível de ruído de tráfego na cidade de São Paulo - SP. Próximo ao local onde foram adquiridos os dados MASW foi realizado há anos um ensaio sísmico *crosshole* executado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT visando obras da Linha 4 do Metrô.

No presente trabalho os dados sísmicos *crosshole* (perfil de V_s) foram comparados com os resultados obtidos com o método MASW com o objetivo de se avaliar as potencialidades e limitações do MASW para a investigação geotécnica em áreas urbanas.

Outro aspecto importante deste projeto é que os dados foram processados com softwares livres, Seismic Unix, Geopsy e Dinver, sendo os últimos dois (*Geopsy Project*) pouco conhecidos no Brasil, apresentando, dessa forma, novas ferramentas à comunidade geocientífica.

Materiais e Métodos

O método MASW baseia-se no comportamento dispersivo da onda *Rayleigh* ao se propagar em um meio verticalmente heterogêneo, onde diferentes comprimentos de onda percorrem diferentes pacotes de camadas em sub-superfície. Cada comprimento de onda estará submetido às diferentes propriedades elásticas do material que definem a sua velocidade de propagação.

De forma geral, podemos dividir o método em três etapas: aquisição, processamento e inversão. Na etapa de aquisição é realizado um ensaio sísmico semelhante ao de refração ou reflexão onde uma fonte gera ondas sísmicas que são captadas por um arranjo linear de geofones e registradas em um sismograma. Em seguida, na etapa de processamento, por operações de mudanças de domínios do sismograma, extrai-se a curva de dispersão que representa as velocidades de fase em função das frequências da onda de superfície. A curva de dispersão é então utilizada na terceira etapa, a de inversão, onde finalmente é obtido um perfil de velocidade da onda S em função da profundidade (Strobbia, 2003).

Resultados do ensaio MASW

Dez dos vinte dados adquiridos foram considerados de boa qualidade e desses apenas os dados 05 e 25 são apresentados neste trabalho. Ambos os dados oferecem informações estimadas até uma profundidade de 15m com resolução para espessuras de camadas maiores que 4m, sendo essa também a mínima profundidade de investigação. A Figura 1 apresenta os resultados das inversões dos dados 05 e 25.

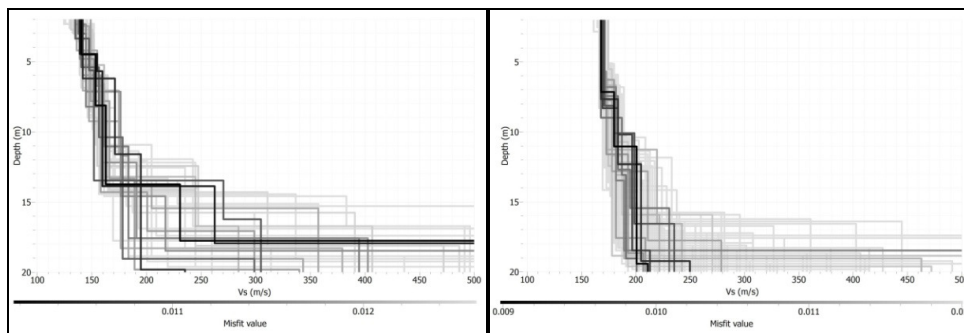


Figura 1. Modelos resultantes da inversão do dado 05 (esquerda) e 25 (direita).

Notam-se médias de velocidades de aproximadamente 160m/s e 180m/s até 10m de profundidade, respectivamente para os dados 05 e 25, aumentando para 170m/s e 200m/s até 15m. Os resultados sugerem interfaces significativas em profundidades de aproximadamente 7m, 11m, 15m e 18m, onde são perceptíveis “saltos” de velocidades.

Resultados do ensaio *crosshole*

Na Figura 2 são apresentados os resultados obtidos com o ensaio sísmico *crosshole* executado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT visando obras da Linha 4 do Metrô. Dois arranjos foram adotados no ensaio: perpendicular e longitudinal à Av. Francisco Morato. Comparando-se os resultados obtidos com os diferentes arranjos verificam-se divergências entre valores de velocidades para profundidades equivalentes. De modo geral existem diferenças da ordem de 25%, sendo os valores superiores relativos ao arranjo longitudinal. Tal anisotropia de velocidades pode estar associada a uma estrutura herdada da rocha e ainda presente no solo residual.

No arranjo perpendicular nota-se um aumento maior de velocidade por volta de 10m, 15m e 20m de profundidade. No arranjo longitudinal o aumento não é tão pronunciado a 10m, mas a 15m e a 20m é notado da mesma forma como ocorre com o arranjo perpendicular, sugerindo interfaces significativas em tais profundidades.

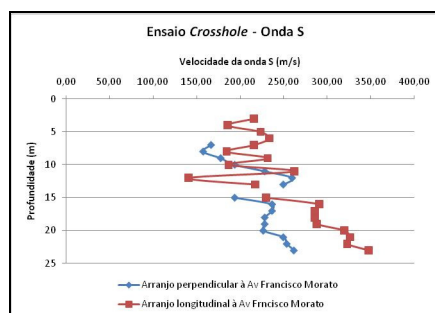


Figura 2. Resultados do ensaio sísmico *crosshole* executado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT na área de estudo.

Conclusões

Os *softwares* Geopsy e Dinver, utilizados respectivamente em etapas de processamento e inversão, mostraram-se de fácil instalação e manuseio. O Dinver se mostrou sensível ao modelo inicial que deve ser criado pelo usuário para que a inversão tenha início.

Para a área de estudo os resultados do MASW mostraram de forma estimada informações até 15m de profundidade e uma resolução para espessuras de camadas acima de 4m. Interfaces significativas em profundidades de aproximadamente 7m, 11m, 15m e 18m, e médias de velocidades de aproximadamente 170m/s até 10m de profundidade, aumentando para 185m/s até 15m, foram observadas.

Confrontado com o método *crosshole*, o método MASW mostrou-se de fácil execução, pouco dispendioso, mas menos preciso. No entanto, uma menor precisão do MASW já era evidente uma vez que o *crosshole* é um ensaio com medidas mais "localizadas". Considerando-se as incertezas envolvidas, os resultados obtidos com o MASW (Figura 1) convergiram para os obtidos com o método *crosshole* (Figura 2). Assim, o método MASW demonstra ser um método com grande potencial para a investigação geotécnica em áreas urbanas.

Para melhores resoluções de horizontes profundos, estudos com o emprego do método MASW passivo mostram-se interessantes. Uma vez que as áreas urbanas são "ricas" em ruídos gerados pelo tráfego de veículos a utilização do ruído ambiental torna o método MASW passivo também de fácil execução. Em particular, a área estudada apresentou ruído bastante notável e que poderá ser analisado. Em conjunto com os dados adquiridos para este trabalho com fontes ativas, foram adquiridos dados com o ruído ambiental que se mostraram promissores com alguns testes iniciais.

Referências Bibliográficas

Geopsy Project. Open source software for geophysical research and applications. Disponível em: <http://www.geopsy.org>. Acesso em: 17 de abril 2013.

Lima Júnior, S.B., Prado, R.L., Mendes, R.M., 2012. Application of multichannel analysis of surface waves method (MASW) in an area susceptible to landslide at Ubatuba, Brazil, *Revista Brasileira de Geofísica*, 30, 213-224.

Park, C.B., Miller, R.D., Xia, J.H., 1999. Multichannel analysis of surface waves, *Geophysics*, 64, 3, 800-808.

Prado, R.L., Shukowsky, W., 2000. O emprego do método sísmico crosshole na cidade de São Paulo: discussão de procedimentos de ensaio e resultados, *Solos e Rochas*, ABGE/ABMS, 23, 2, 79-91.

Stokoe, K.H., Wright, S.G., Bay, J.A., Roesset, J.M., 1994. Characterization of geotechnical sites by SASW method. Technical Review: Geophysical Characterization of Sites, ISSMFE Technical Committee 10, Oxford Publishers, New Delhi, 15-25.

Strobbia, C., 2003. *Surface Wave Method. Acquisition, Processing and Inversion*, PhD Thesis, Politecnico di Torino, Torino, Italy.

Xia, J., Miller, R.D., Park, C.B., 1999. Estimation of near-surface shear-wave velocity by inversion of Rayleigh waves. *Geophysics*, 64, 3, 691-700.