

Determinação de coeficiente de Poisson do substrato rochoso a partir de análise dos dados sísmicos de onda P e onda PS registradas apenas no plano vertical

Isabella Tomasella Auaud* (IPECI/UNISANTOS), Oleg Bokhonok (IAG-USP & IPECI/UNISANTOS), Liliana Alcazar Diogo (IAG-USP), Victor Jorge de Oliveira Marum (IPECI/UNISANTOS)

Copyright 2016, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no VII Simpósio Brasileiro de Geofísica, Ouro Preto, 25 a 27 de outubro de 2016. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do VII SimBGf, mas não necessariamente representa a opinião da SBGf ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGf.

Resumo

Esse trabalho oferece uma ferramenta importante de investigação indireta, para uma melhor avaliação da geologia e das propriedades geotécnicas em subsuperfície.

Os resultados apresentados mostram a possibilidade de determinar a razão V_p/V_s e o coeficiente de Poisson a partir dos tempos de trânsito das ondas PP e PSv registrados com receptor vertical. Os valores indicam que o substrato rochoso é constituído predominantemente pelos sedimentos argilosos saturados.

Introdução

Nos tempos atuais surge a necessidade cada vez maior de construção de obras voltadas às necessidades de infra-estrutura e a falta de espaço físico nas grandes metrópoles têm levado à ocupação dos espaços subterrâneos (como por exemplo para a instalação de túneis, reservatórios de retenção de cheias, dutos para cabos elétricos e de fibra ótica, etc.). Para a elaboração desses projetos e sua execução é necessário ter um bom conhecimento da geologia e das propriedades geotécnicas da área.

O coeficiente de Poisson (σ) é definido como sendo a razão da tensão transversal pela tensão longitudinal sofrida por um corpo quando aplicada uma tensão unidirecional, compressiva ou distensiva (Sheriff, 2002), ou seja, é um parâmetro que define o quanto o solo deforma no sentido horizontal em relação à deformação no sentido do carregamento, e relaciona-a às velocidades de onda compressional V_p e onda cisalhante V_s (Equação 1).

$$\sigma = \frac{\left(\frac{1}{2}\right) \left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 1}{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 1} \quad (1)$$

A importância da utilização das velocidades V_p e V_s está na caracterização das propriedades da rocha. A velocidade da onda P embora seja útil, é uma função de três parâmetros independentes, tornando-a um indicador ambíguo de litologia. Calcula-se, então, a razão V_p/V_s , que independe da densidade, para inferir informações mais precisas da litologia, baseadas nas propriedades geotécnicas do solo (Kearey *et al.*, 2002).

Na sísmica multicomponente ocorre o registro tanto das ondas P quanto das ondas S. No entanto o valor alto de equipamento para aquisição dos dados sísmicos multicomponentes e aparente complexidade de análise destes dados impedem uso amplo desta tecnologia.

Neste trabalho apresentamos uma ferramenta simples para obter a razão V_p/V_s e o coeficiente de Poisson (σ) a partir de registro sísmico de reflexão registrado apenas em plano vertical, ou seja a partir de registro convencional gerando e registrando energia sísmica no plano vertical.

Local de Estudo

Para esse estudo foram escolhidos os dados adquiridos dentro do campus da Universidade de São Paulo, situada na zona oeste do Município de São Paulo, Brasil. A geologia neste local é representada por sedimentos terciários da Formação Itaquaquacetuba da Bacia Sedimentar de São Paulo que situa-se sobre o embasamento pré-cambriano. Na figura 1 está apresentada uma secção geológica elaborada através da correlação dos 3 poços existentes na área.

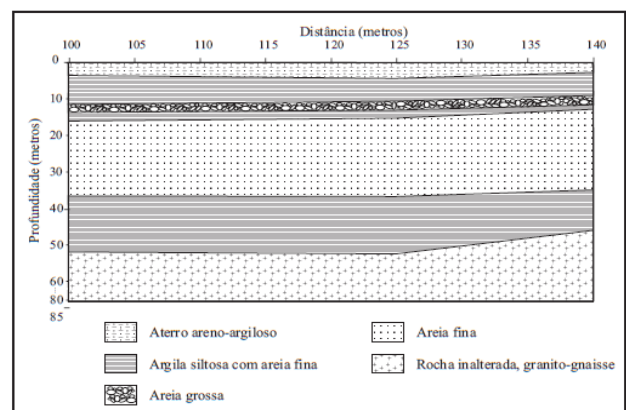


Figura 1 – Seção geológica obtida da correlação dos três poços existentes na área de estudo 2 (Adaptado de Borges, 2002).

Metodologia

A ideia central deste trabalho consiste em aproveitar a decomposição vetorial das ondas PP e PS no plano z-x. Nesta situação é possível registrar ambas as ondas com receptor vertical e usar essa informação para obter a razão V_p/V_s e coeficiente de Poisson.

A Figura 3a é uma representação habitual de campo de onda PP e PSv, que não leva em conta a decomposição das ondas P e Sv no plano z-x, na direção vertical e horizontal radial (Figura 2). A representação que considera a decomposição do campo de onda multicomponente está na Figura 3b. Portanto num meio isotrópico no plano x-z são registrados oito eventos refletidos para a mesma interface e não quatro.

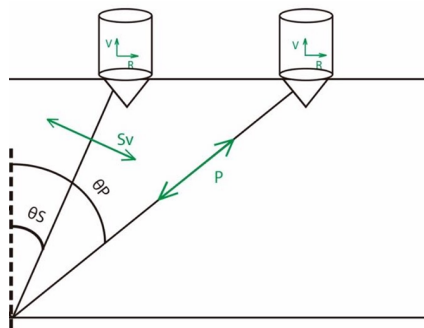


Figura 2 – Ilustração de decomposição das ondas P e Sv nas direções vertical (z) e horizontal radial (x).

RECEPTOR \ FONTE		RADIAL	VERTICAL
		RADIAL	VERTICAL
RADIAL		SvSv	SvP
VERTICAL		PSv	PP

(a)

RECEPTOR \ FONTE		RADIAL	VERTICAL
		RADIAL	VERTICAL
RADIAL		SvSv	SvSv
		SvP	SvP
VERTICAL		PP	PP
		PSv	PSv

(b)

Figura 3 – Representação das componentes registradas em um sistema de coordenadas cartesianas (XZ) assumindo meio isotrópico: (a) ondas PP, PSv, SvP e SvSv; (b) ondas PP, PSv, SvP e SvSv decompostas nas direções vertical (z) e horizontal radial (x).

Aquisição dos dados

Para adquirir os dados foi realizado um experimento chamado de Análise de Ruído (walkaway test), deslocando a fonte sísmica e deixando os receptores fixos.

Na tabela 1 estão apresentados os parâmetros de aquisição utilizados no local de estudo. Estes parâmetros foram escolhidos com base no conhecimento prévio da geologia do local.

Número de grupos de receptores	32 (fixos)
Afastamento mínimo	2 m
Afastamento máximo	128 m
Espaçamento entre os grupos de receptores	2 m
Número de pontos de tiro	2
Geofones	Horizontal de 28 Hz e Vertical de 40 Hz
Fontes	Marreta de 6kg impactada sobre: placa de metal acoplada no solo
Acoplamento dos geofones	Ponteira de 0,1
Intervalo de amostragem	0,25 ms
Comprimento do registro	700 ms
Filtro corta-baixa analógico	3 Hz

Tabela 1 – Parâmetros de aquisição dos dados sísmicos de reflexão na forma de Análise de Ruído.

Na figura 4 estão apresentados os registros sísmicos brutos adquiridos utilizando fonte vertical e receptores horizontais direcionados na direção radial (figura 4a) e receptores verticais (figura 4b).

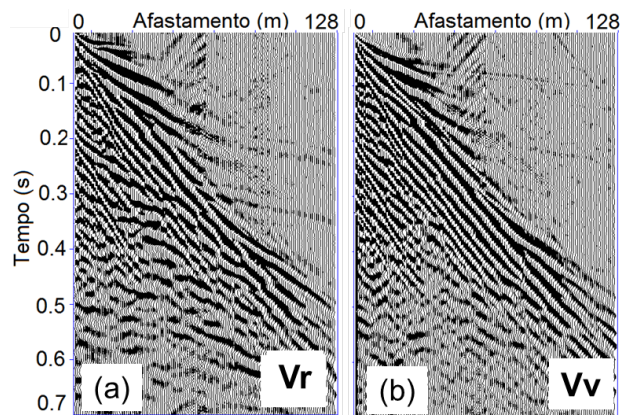


Figura 4 – Registro sísmico bruto adquirido na área de estudo: (a) Fonte Vertical – Receptor Horizontal Radial; (b) Fonte Vertical – Receptor Vertical.

Processamento dos dados

As ondas P e PSv foram processadas de forma individual, isto devido à esses dois tipos de onda possuírem diferentes conteúdos de frequência e velocidades. Para o processamento dos dados foi usado o pacote gratuito Seismic Unix (CWP/SU) (Stockwell & Cohen, 1998). Na Figura 5, os registros foram processados com o intuito de preservar a presença da energia da onda P.

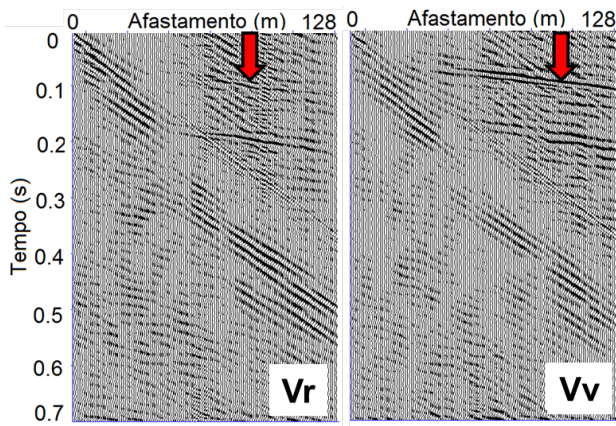


Figura 5 – Dado sísmico adquirido na área de estudo e processado com o intuito de preservar a presença de energia de onda P. Os eventos de onda P estão indicados com setas vermelhas.

Na Figura 6, os registros foram processados com o intuito de preservar a presença da energia da onda PSv.

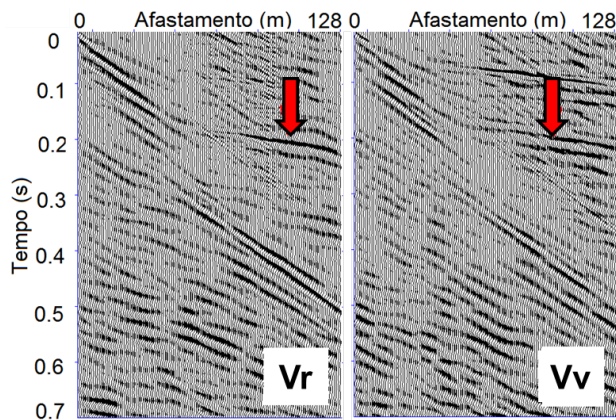


Figura 6 – Dado sísmico adquirido na área de estudo e processado com o intuito de preservar a presença de energia de onda PSv. Os eventos de onda PSv estão indicados com setas vermelhas.

Observando os dados sísmicos processados verificou-se que as ondas sísmicas PP e PSv foram registradas tanto com receptor vertical, como também com receptor horizontal radial. Entretanto, apenas o registro efetuado com receptor vertical já é suficiente para obter as informações de tempos de trânsito de onda PP e PSv.

Interpretação/Inversão de tempos de trânsito

Após a leitura dos tempos observados dos eventos de onda PP e PSv registrados com receptor vertical (Figuras 5 e 6) foi efetuada a inversão dos tempos utilizando a equação da hipérbole deslocada (Malovichko, 1978).

A função objetivo utilizada no procedimento de inversão foi L2 que quantificou a semelhança entre os tempos de trânsito calculados e observados. Portanto, o melhor

ajuste dos dados calculados aos observados está associado ao valor mínimo da função objetivo de tempos de trânsito da onda PP e onda PSv refletidos. Os parâmetros estimados são o tempo normal, velocidade de RMS e parâmetro S (coeficiente de heterogeneidade).

Os resultados obtidos estão apresentados na Figura 7 e Tabela 2.

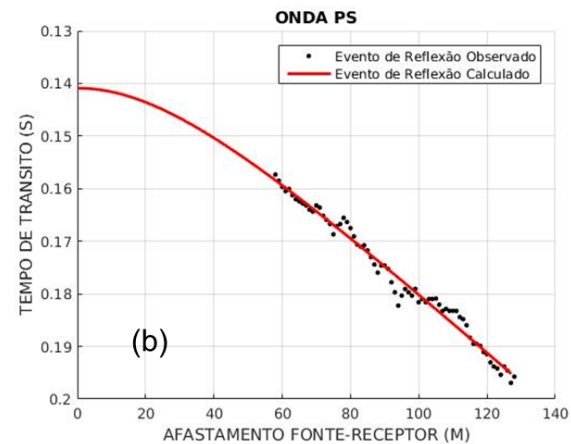
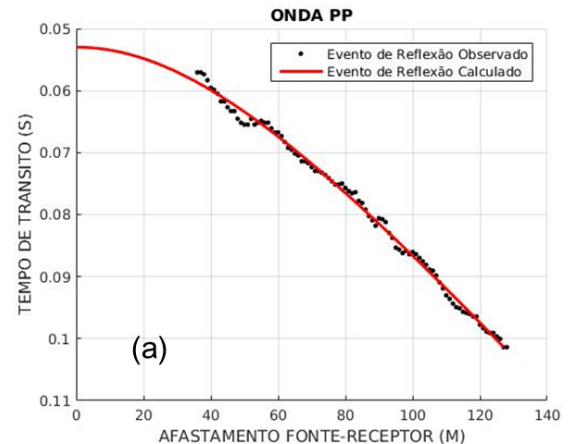


Figura 7 – Tempos de trânsito observados (pontos pretos), e os tempos de trânsito obtidos pela inversão (curva vermelha): (a) Onda PP; (b) Onda PSv.

Tipo de Onda	Parâmetros		
	t (0)	Vrms	S
PP	0.0531 s	1420,57 m/s	1,23
PSv	0.141 s	709,84 m/s	5,67

Tabela 2 – Valores da velocidade, tempo normal e parâmetro S, estimados pela inversão de tempos de trânsito da onda P e PS.

Cálculo de razão de Vp/Vs e coeficiente de Poisson

De acordo com os testes, com os dados numéricos apresentados em Bokhonok (2011), o parâmetro estimado que apresenta o menor erro relativo é o tempo normal (t_0). Por esse motivo, para o cálculo de Vp/Vs foram usados o tempo normal das ondas PP e ondas PS, como na equação 2 (Stewart et al. 1999).

$$\frac{V_P}{V_S} = \frac{2t_{PS}}{t_{PP}} - 1 \quad (2)$$

O coeficiente de Poisson foi obtido utilizando a equação 1. O valor de razão Vp/Vs obtido é de 4,31 e o valor do coeficiente de Poisson obtido é de 0,472.

Conclusões

A razão Vp/Vs e o coeficiente de Poisson foram obtidos a partir dos tempos de trânsito da onda PP e PSv registrados com receptor vertical. Os valores indicam que o substrato rochoso no local de estudo é constituído predominantemente por sedimentos argilosos saturados.

Agradecimentos

Auad I.T. agradece à Universidade Católica de Santos pela bolsa de estudos de Iniciação Tecnológica (PROITI) ao IPECI e a todas as pessoas que apoiaram na consecução deste trabalho.

Bokhonok O. agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de Pós-doutorado (Processo: 159293/2015-4)

Referências

Bokhonok, O. 2011. Sísmica de Reflexão Rasa Multicomponente: Aquisição e Inversão de Tempos de Trânsito e Amplitudes. Tese de Doutorado. IAG-USP. 162p.

Borges, W.R., 2002. Investigações geofísicas na borda da Bacia Sedimentar de São Paulo, utilizando-se GPR e Eletrorresistividade. Dissertação de Mestrado, IAG/USP. São Paulo, 153p.

Kearey, P.; Brooks, M.; Hill, I., 2002. An introduction to geophysical exploration. 3rd ed. Blackwell Science

Malovichko, A. A., 1978. A new representation of the travelttime curve of reflected waves in horizontally layered media. **Applied Geophysics** (in Russian), vol. 91: 47-53.

Sheriff, R. E., 2002. Encyclopedic Dictionary of Applied Geophysics. 4th ed. Tulsa: Society of Exploration Geophysicists.

Stockwell, J. W.; Coher, J. K., 1998. **The New SU User's Manual**. CWP Colorado School Mines, USA, version 2.2

Stewart, R.R., J.E.Gaiser, R.J. Brown and D.C.Lawton, 1999, Converted-wave seismic exploration: a tutorial, **CREWES Research Report**, Vol. 11, 21-62.