

Medidas ultrassônicas em amostras de arenitos naturais e sintéticas

Marco AR Ceia & Roseane M Misságia, LENEP/UENF

Copyright 2009, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 11th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, August 24-28, 2009.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 11th 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

This work aims to show the results of experiments performed to estimate P-wave velocities, mineral and bulk densities and porosity of some natural and manmade sandstone samples. Furthermore, it also shows a comparison between velocity values calculated through Gardner relationship and the observed values. Acoustic velocity measurements were carried out using a PUNDIT, while density and porosity measurements were taken through weight balance

We expect that the obtained results may be useful when designing seismic physical models, helping to choose proper materials with similar properties.

Introdução

A avaliação experimental das propriedades físicas das rochas em laboratório tem o potencial de prover importantes informações para a calibração de perfis de poços e seções sísmicas. Tais propriedades podem ser determinadas diretamente em litologias específicas, resultando no conhecimento detalhado da influência de cada uma destas litologias na resposta mais global característica dos perfis de poços e, em especial das seções sísmicas. Desta forma tais informações podem auxiliar numa interpretação mais acurada dos dados geofísicos, e como consequência, pode impactar positivamente o processo de otimização da produção de reservatórios petrolíferos.

Entre essas propriedades a velocidade de propagação das ondas acústicas é a mais importante para a calibração das seções sísmicas. A propagação das ondas acústicas numa amostra de rocha depende de outras propriedades físicas tais como: porosidade, saturação (conteúdo de fluido), tipo de fluido presente nos poros e densidade. Outros fatores como pressão de confinamento e temperatura também podem afetar estas propriedades e consequentemente influenciar a propagação das ondas acústicas.

A equação de Gardner (Gardner et al., 1974) relaciona velocidade com densidade, e é expressa por:

$$\rho = a(V_p)^b \quad (1),$$

onde:

a e b são constantes.

A Tabela 1 apresenta alguns valores para estas constantes disponíveis na literatura para arenitos.

Referência	A	b	Obs
Gardner et al., 1974	0,31	0,25	Vp em m/s
Mavko et al, 1998	1,66	0,261	Vp em Km/s
Potter & Stewart, 1998	0,208	0,264	Vp em ft/s
Ursenbach, 2001	1,61	0,278	Vp em Km/s

Tabela 1 – Valores de a e b tipicamente encontrados na literatura.

Neste trabalho tivemos por objetivo determinar experimentalmente a velocidade de propagação das ondas acústicas e a densidade global ("bulk") de amostras de rocha, e efetuar a correlação de tais medidas com as obtidas numericamente através da equação de Gardner. Para isto, utilizamos os valores das constantes a e b apresentados na Tabela 1.

Foram utilizadas quatro amostras, sendo: 2 de arenito Berea, 1 de arenito Botucatu e 1 amostra sintética. As amostras de arenitos naturais foram provenientes de afloramentos e são comumente utilizadas em ensaios de laboratório para estudos de fluxo em meios porosos. A amostra sintética foi construída a partir de areia com resina, para ser utilizada em ensaios de mecânica de rochas.

Metodologia

Preparação das Amostras

Para a secagem e limpeza das amostras utilizou-se o seguinte procedimento:

1. satura-se a amostra com água destilada (tipo 1),
2. coloca-se a amostra numa estufa a 100°C durante 1h,
3. retira-se a amostra da estufa,
4. pesa-se a amostra em uma balança de precisão,
5. repete-se os itens 2-4 até que não haja mais variação significativa de peso.

Para a saturação das amostras, estas são imersas em um recipiente com água dentro de uma câmara de vácuo. À medida que a bomba de vácuo entra em funcionamento, o ar é extraído de dentro da câmara e conseqüentemente dos poros da rocha, sendo substituído pela água do recipiente. Primeiramente coloca-se a solução cobrindo apenas a metade da rocha e submete-se a amostra a uma pressão de 5 mbar durante 20 min. Em seguida completa-se a solução até que a amostra fique totalmente imersa, prosseguindo com a aplicação de pressão de 5 mbar durante 20 min. Posteriormente extrai-se todo ar da câmara (0 mbar).

Determinação da densidade global (“bulk density”)

As dimensões das amostras foram medidas utilizando-se um paquímetro digital. Com estas informações foi possível calcular o volume das amostras de rochas.

A densidade do fluido da solução (ρ_f) utilizada para a saturação das amostras pode ser determinada experimentalmente, através da diferença de peso de um recipiente seco e com 40 ml da solução.

A porosidade (ϕ) pode ser determinada através da diferença de pesos entre as amostras secas (P_{dry}) e saturadas (P_{sat}), conforme a equação (2).

$$\phi = \frac{P_{dry} - P_{sat}}{\rho_f V_r} \quad (2),$$

Com estas informações e utilizando-se como densidade do ar (ρ_{ar}) o valor de 0,00129 g/cm³ (Wikipedia, 2009), é possível determinar a densidade mineral (ρ_m) e a densidade global (ρ_b), conforme as equações (3) e (4):

$$\rho_m = \frac{P_{dry}}{V_r (1 - \phi)} \quad (3),$$

$$\rho_b = \rho_m (1 - \phi) + \phi (\rho_f S_f + \rho_a S_a) \quad (4),$$

onde:

S_f = saturação de fluido,

S_a = saturação de ar.

Quando a amostra está seca: $S_f = 0$ e $S_a = 1$. Quando está saturada com o fluido, $S_f = 1$ e $S_a = 0$.

A balança digital utilizada tem precisão de 0,01g, enquanto que o paquímetro utilizado para medir os comprimentos tem precisão de 0,01 mm.

Determinação de V_p

Um dos métodos mais utilizados para a determinação da velocidade de propagação das ondas acústicas é através de medidas ultra-sônicas. Neste procedimento a amostra de rocha é colocada entre dois transdutores ultra-sônicos, um transmissor e um receptor (Figura 1). O transmissor gera um sinal ultra-sônico que percorre toda a amostra até chegar ao receptor. O equipamento registra o tempo de trânsito neste percurso. Com esta informação e conhecendo-se o comprimento da amostra

podemos calcular a velocidade de propagação das ondas acústicas nesta amostra de rocha (Equação 5).

$$V_p = \frac{T}{L} \quad (5)$$

onde:

T=tempo de trânsito,

L=comprimento.

O equipamento utilizado foi um Pundit (“Portable Ultrasonic non-destructive digital tester”), conforme (Figura 1), que gera ondas P de 54 KHz. Uma solução (gel) foi utilizada para melhorar o acoplamento acústico entre o transdutor e a amostra de rocha. A precisão deste equipamento é de 0,1µs. Para velocidades típicas de arenitos (2000-4000 m/s) (Mavko et al., 1998), o comprimento de onda situa-se entre 37-74 mm.

Resultados

A Tabela 2 sumariza os resultados obtidos para as 4 amostras estudadas.

Amostr a	V_p DRY (m/s)	V_p SAT (m/s)	ρ_b DRY (g/cm ³)	ρ_b SAT (g/cm ³)	ρ_m (g/cm ³)	ϕ (%)
#1	2220,0	2874,7	2,11	2,30	2,62	19,62
#2	2233,0	2257,9	2,12	2,33	2,69	21,13
#3	2759,7	2434,5	1,91	2,18	2,61	26,74
#4	2395,5	2678,5	1,68	1,74	1,79	6,03

Tabela 2 – Valores de V_p , ρ_b , ρ_m e porosidade (ϕ). DRY refere-se a amostra seca e SAT a amostra saturada.

Os valores de V_p , ρ_b e ρ_m obtidos para as amostras 1, 2 e 3 (arenitos naturais) estão de acordo com os valores observados na literatura (Gardner et al., 1974 e Mavko et al., 1998).

A Figura 1 mostra um gráfico de $V_p \times \rho_b$ para amostras secas. Além dos valores observados para as amostras, também são mostrados os valores teóricos calculados através da relação de Gardner usando-se os coeficientes listados na Tabela 1. A Figura 2 exibe um gráfico de $V_p \times \rho_b$ para amostras saturadas. É interessante observar que os valores obtidos para as amostras 1 e 2 secas, estão mais próximos dos valores calculados do que as amostras saturadas. Os valores calculados utilizando-se os coeficientes a e b de Gardner et al, 1974 e de Potter & Stewart, 1998, são os mais próximos aos dados observados para as amostras 1, 2 e 3 saturadas. Para as amostras secas, isto se mantém para as amostras 1 e 2, enquanto que a amostra 3 os valores calculados estão distantes dos valores observados

Como a amostra 4, foi feita a partir de areia com resina, ela apresenta baixa porosidade. Diferentemente dos

arenitos naturais observados, nenhuma das curvas obtidas utilizando-se a relação de Gardner, parece ajustar os valores obtidos experimentalmente para esta amostra.

De acordo com Miller & Stewart (1991), as densidades calculadas através da relação de Gardner são superestimadas em amostras de baixa densidade. Isto é o que acontece com as amostra 3, quando ela está seca apresenta baixa densidade global e a diferença entre os valores calculados e medidos é grande. Já quando esta amostra está saturada, a densidade global aumenta e a diferença entre os valores calculados e medidos diminui. Em relação à amostra 4, devido a baixa porosidade, o aumento da densidade global com a saturação é pequeno, acarretando uma grande diferença entre os valores calculados e medidos (observados).

Conclusões

Estes experimentos tiveram êxito na determinação dos valores de V_p , ρ_b e ρ_m e porosidade (ϕ) de amostras de arenitos naturais e sintéticos. Pode-se perceber que a diferença entre os valores de V_p calculados pela equação de Gardner e os valores de V_p medidos, é maior para amostras com baixa densidade global ("bulk").

Agradecimentos

Ao LENEP/UENF pela infra-estrutura disponibilizada. Ao Núcleo de Competência em Campos Marítimos (UENF) pelos recursos disponibilizados. A Alexandre Sérvulo pela cessão das amostras e Luiz G. Abreu pelo apoio aos experimentos.

Referências

Gardner, G.H.F., Gardner, L.W., and Gregory, A.R., 1974. Formation velocity and density – The diagnostic basics for stratigraphic traps. *Geophys.*, 39, 770-780.

Mavko, G., Mukerji T., and Dvorkin, J., 1998. *The Rock Physics Handbook: Tools for Seismic Analysis in Porous Media*. Cambridge University Press, 1998.

Miller, S. & Stewart R. 1991. The relationship between elastic wave velocities and density in sedimentary rocks – A proposal, in *CREWES 1991 Research Report*.

Potter, C., and Stewart, R., 1998. Density predictions using VP and VS sonic logs, in *CREWES 1998 Research Report*, Vol. 10.

Ursenbach, C. 2001. A Generalized Gardner relation in *CREWES 2001 Research Report*, Vol. 13.

Wikipedia, 2008.

http://pt.wikipedia.org/wiki/Atmosfera_terrestre



Figura 1 – Ilustração do PUNDIT (Portable Ultrasonic Non-Destructive Integrity Tester).

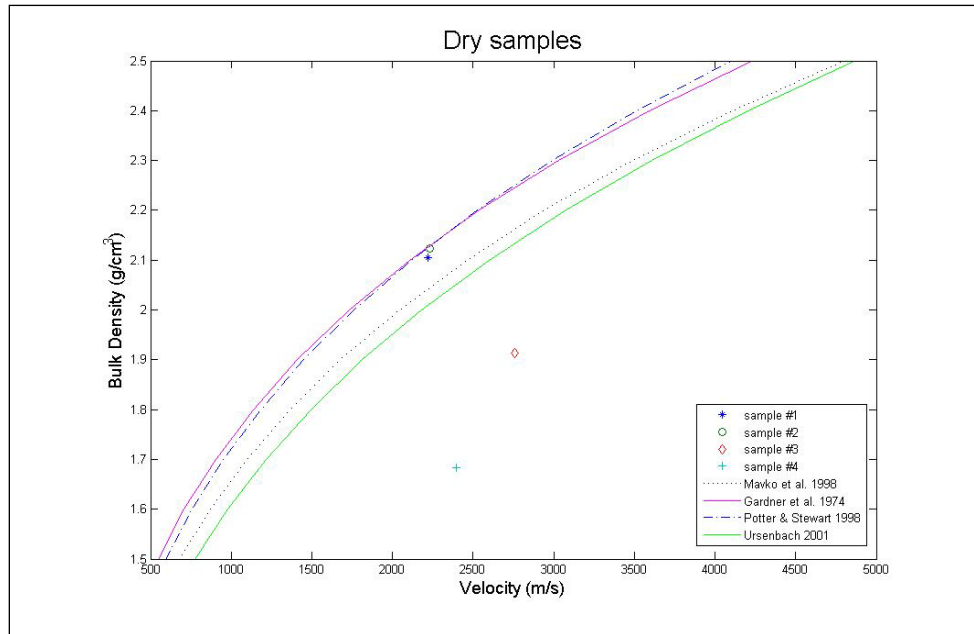


Figura 2 – Gráfico $V_p \times \rho_b$ para amostras secas (de 1 a 4). As linhas contínuas representam os valores de V_p calculados a partir da relação de Gardner.

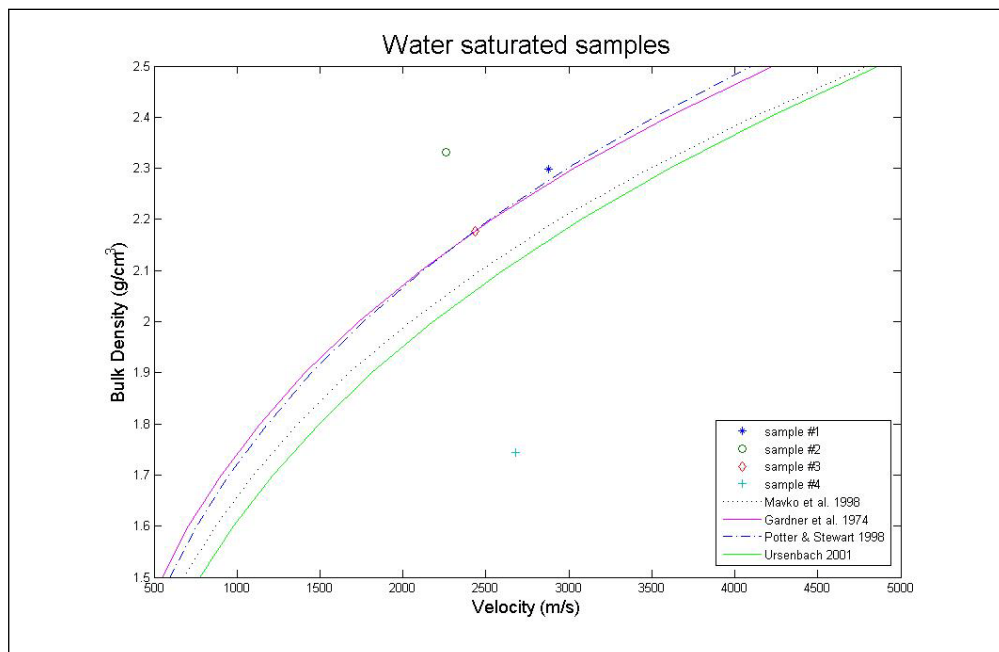


Figura 3 – Gráfico $V_p \times \rho_b$ para amostras saturadas (de 1 a 4). As linhas contínuas representam os valores de V_p calculados a partir da relação de Gardner.