



Aprendendo a confiar em Greenberg-Castagna

José Eduardo Ferrer Pinheiro E&P-IAMEQ/Petrobrás

Copyright 2005, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, 11-14 September 2005.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Ideas and concepts of the text are authors' responsibility 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

Greenberg and Castagna's (1992) technique of shear-sonic construction using V_p data, is a lithology based regression which uses the Gassman equation. As an empirical relation, it should apply only to the set of rocks that generated it. But it seems to be more robust than initially imagined. The Greenberg-Castagna method was used to predict V_s in six wells from different Brazilian Basins. The analysis suggests that the method is applicable for most part of the data. Despite some good results showed here, it should always be used with a full understanding of its assumptions and limitations. It is hoped that the ideas presented herein may lead to a better understanding of the technique, and to reduce uncertainty in its application.

Introdução

Greenberg e Castagna publicaram em 1992 um método de geração de perfis de V_s (velocidade da onda cisalhante) a partir de relações empíricas entre a velocidade compressional e a cisalhante de componentes monominerálicas baseado na teoria de substituição de fluidos de Biot-Gassmann (Biot, 1956 e Gassmann, 1951). Não são poucos os que não confiam na robustez do método e que acreditam que a sua aplicabilidade estaria restrita às areias do Terciário do Golfo do México, pois como se trata de um método empírico é natural que a sua aplicação se restrinja ao conjunto de dados a partir do qual foi gerado.

Porém, apesar de empregar relações empíricas e da teoria de Biot-Gassmann (que está embutida no método) pressupor a ocorrência de uma série de condições ditas ideais para a sua correta aplicação, esse método tem obtido bons resultados quando empregado em outras áreas. Tanto que ele tem sido utilizado na avaliação da qualidade dos perfis sônicos cisalhantes corridos nos poços. Diante de opiniões tão distintas e com objetivo de avaliar melhor a aplicabilidade do método em nossas bacias, ele foi utilizado a situações consideradas, a princípio, como desfavoráveis. Os resultados obtidos na sua aplicação são descritos neste trabalho.

Método

Greenberg e Castagna (1992) desenvolveram um método de geração de perfis de V_s a partir de relações empíricas estabelecidas com base em dados de perfil e de laboratório entre V_p e V_s para rochas monominerálicas (arenito, dolomita, calcita e argila) saturadas com salmoura. O método consiste basicamente em se determinar de forma iterativa valores de V_p e V_s para rochas saturadas com salmoura que são então levadas à condição de saturação da rocha *in situ* através da técnica de substituição de fluidos proposta por Biot-Gassmann gerando dessa forma um perfil calculado de V_p e de V_s . Esse processo é repetido até que as velocidades compressionais calculadas gerem valores de V_p similares aos do perfil segundo algum critério de convergência. Atingido o critério, considera-se determinado o perfil de V_s para a saturação *in situ*. Este método requer o conhecimento da litologia, saturação e dos módulos elásticos e densidade dos constituintes minerais e dos fluidos saturantes. É importante lembrar que a substituição de fluidos ocorre apenas nos reservatórios portadores de hidrocarbonetos, aplicando-se para o restante das rochas as relações empíricas.

Resultados

CASO 1: AVO Classe IV em areias do Cretáceo Superior

O AVO classe IV foi descrito por Castagna e Swan em artigo publicado em 1997. Tal qual o AVO classe III, ele é identificado na sísmica pela ocorrência de *bright spot*, diferindo deste pelo fato da amplitude decrescer em módulo com o afastamento, o que levou o autor a denominá-lo como "falso negativo". O seu reconhecimento é possível utilizando-se o gráfico *intercept x gradiente*, procurando-se por desvios em relação a uma tendência de fundo.

No caso em questão trata-se de areias do Cretáceo Superior saturadas com gás da Bacia de Santos. A modelagem de AVO realizada com os dados originais do poço indica uma resposta de AVO caracterizada como classe IV, o que corrobora com os resultados obtidos com os dados da sísmica (Damasceno et al, 2004). Para este poço foi calculado um perfil sintético de V_s utilizando o método de Greenberg-Castagna. Na Figura 1d podem ser comparados os dois perfis de V_s , o sintético e o original. As diferenças que se observam podem ter sido causadas por imprecisões na descrição da litologia ou da saturação. Com este perfil sintético foi modelada a resposta de AVO no poço. A resposta da modelagem de AVO obtida com o perfil sintético de V_s (Figura 1) é semelhante à gerada com o perfil original. Esse resultado pode ser considerado como um exemplo da eficácia do método na geração do perfil sintético, pois apesar das diferenças observadas entre os

perfis de Vs, não houve alterações na resposta de AVO do poço.

CASO II: AVO classe II em areias do Cretáceo Inferior

Este caso trata de areias com gás do Cretáceo Inferior, do pré-rift, caracterizadas por uma anomalia de amplitude classe II (Gontijo e Freire, 2002). O AVO classe II é caracterizado pelo pequeno contraste de impedância entre o reservatório e a rocha encaixante, podendo ocorrer uma mudança de polaridade. Este exemplo é uma situação interessante, não só pela resposta de AVO, mas também pelo fato de se tratarem de areias do Cretáceo Inferior, as quais tem velocidade do sônico de ondas compressional alta apesar da boa porosidade.

Tal qual o caso anterior, nota-se uma boa concordância entre os perfis de onda cisalhante original e sintético neste intervalo, resultando numa resposta de AVO idêntica a obtida com o perfil original, que é classe II (Figura 2). No sismograma sintético observou-se uma redução (em módulo) da amplitude, mas não a troca de polaridade. A geração de perfis sintéticos de onda S via Greenberg-Castagna, para o caso de rochas mais consolidadas, vai depender, além de um perfil de velocidade compressional e de porosidade confiáveis, mais da litologia do que da saturação, o que pode ser o caso aqui. Por isso a necessidade de se contar sempre com uma boa descrição litológica.

CASO III: Aplicando G&C a Carbonatos

A aplicação do método de Greenberg-Castagna a rochas carbonáticas é geralmente considerada como inadequada, pois elas não se encaixam perfeitamente nas hipóteses para a aplicação correta da equação de Biot-Gassmann. Apesar disso existem exemplos na literatura da aplicação eficaz da equação de Gassmann a carbonatos. Neste caso são estudados intervalos de dois poços diferentes: um com carbonatos do Albiano da Bacia de Santos e o outro com coquinas da Bacia de Campos. Não foram modeladas as respostas de AVO. Foram gerados apenas os perfis sintéticos de Vs via Greenberg-Castagna com o intuito de se avaliar a aplicação deste método a essas rochas carbonáticas. Na figura 3 compara-se a curva de regressão dos carbonatos de Greenberg-Castagna com as medidas de velocidade das amostras de carbonatos do laboratório de Física de Rochas do Cenpes saturadas via a equação de Biot-Gassmann. Existe uma boa sobreposição para as amostras com valores de Vp acima de 4000 m/s. Este resultado parece indicar que o método pode funcionar para os poços de onde vieram essas amostras. O resultado da aplicação do método aos dois poços em questão pode ser observado nas figuras 4 e 5. A correlação entre os perfis originais e sintéticos é muito boa. Também foram gerados perfis sintéticos de Vs a partir de relações empíricas obtidas de medidas de laboratório. A boa correlação entre as curvas de Vs pode estar relacionada ao tipo de porosidade encontrada nestes intervalos dos poços e ao contato entre os grãos.

CASO IV: Avaliando a invasão dos perfis

É comum o perfil sônico ler dentro da zona de invasão do filtrado da lama de perfuração. E esses perfis incorretos vão comprometer a resposta da modelagem de AVO. Nesta situação o perfil sintético de Vs gerado via Greenberg-Castagna pode servir para avaliar a saturação da invasão, e assim, através da técnica de substituição de fluido (no reservatório portador de hidrocarboneto), permitir a correção do perfil sônico compressional, num procedimento similar ao descrito por Walls (2000). Para isso é necessário que exista o perfil de Vs original, pois a constatação é via comparação, sendo necessário também conhecer as características acústicas do filtrado. Para sua aplicação é preciso atribuir inicialmente um valor para a saturação do filtrado, e calcular o perfil sintético de Vs, o qual é comparado ao original. Quando as duas curvas coincidirem, assume-se que a saturação escolhida está correta, e através da técnica de substituição de fluido calcula-se um sônico corrigido. Caso contrário, gera-se outra curva sintética de Vs com outro valor de saturação, até que ocorra uma boa correlação entre elas.

Para empregar o método de Greenberg-Castagna na avaliação da saturação da invasão é preciso garantir antes a sua aplicabilidade na área de estudo, o que pode ser feito através da geração de um perfil de Vs sintético em outro poço da área onde o perfil de Vs tenha sido corrido sem problemas, comparando então as duas respostas. Caso ocorra algum problema, deve-se substituir as relações empíricas do método por outras que se ajustem melhor aos dados da área.

O resultado da aplicação do método de Greenberg-Castagna (1992) na avaliação da saturação em um poço pode ser vista na figura 6. Os dados do filtrado de lama foram obtidos do trabalho de Dillon e Pinheiro (2000). A curva sintética de VS foi gerada para várias saturações de filtrado da lama, sendo que das curvas geradas, a de 80% é a que teve a melhor amarração com a curva original de Vs. Isto significa que uma saturação muito próxima a verdadeira saturação foi determinada, e que agora, de posse deste dado pode-se corrigir o perfil sônico compressional através da técnica de substituição de fluidos. Calculado o perfil de Vp corrigido, observa-se que este está bem próximo as amostras saturadas do poço (Figura 6), o que aumenta a nossa confiança no método.

CASO V: Areias do Cretáceo Superior

Neste caso ressalta-se a importância de uma calibração adequada antes da aplicação da técnica de Greenberg-Castagna. Para uma determinada Bacia existem amostras de arenitos do Cretáceo Inferior que, quando saturadas, amarram muito bem com a curva empírica do arenito (Figura 7d). Essas amostras são de poços da plataforma. Quando se aplica Greenberg-Castagna a um poço da mesma Bacia, mas numa lâmina d'água de mais de 1500m e distante 190 km dos poços de onde vieram as amostras, observa-se que o perfil sintético de VS gerado apresenta velocidade inferior a do perfil corrido no poço (Figura 7b). Não era o resultado esperado, pois apesar das amostras serem de idade e contexto geológico diferentes, o fato delas terem amarrado bem

com a curva empírica parecia ser uma boa indicação de que o método poderia ser aplicado a toda Bacia. Ou seja, o fato das amostras amarrarem bem com a curva de regressão dos arenitos não é garantia de que a mesma funcionará para qualquer areia da Bacia. Porém ainda não está descartada a possibilidade da existência de problemas no perfil. Caso seja essa a razão, esta situação seria um exemplo da aplicação do método no controle de qualidade das curvas. Ainda assim é importante ressaltar que não se deve empregar relações empíricas que não estejam devidamente calibradas com algum poço da área.

Conclusões

Os resultados apresentados aqui, em sua maior parte, reforçam a confiança no método de Greenberg-Castagna. Questionamentos sobre sua confiabilidade são normais, tendo em vista a natureza empírica do método. Mas esta situação pode ser superada através do cálculo de retas de tendência para cada litologia a partir dos dados da área em estudo. Assim, quando existirem relações empíricas próprias, ou quando se constatar a aplicabilidade do método numa determinada área e intervalo, a utilização deste poderá ser feita com bastante confiança. Mas apesar dos bons resultados, a melhor prática ainda é correr o perfil de Vs no poço sempre que possível.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a Petrobras pela permissão de publicar este trabalho e aos colegas Carlos Varela, Fernando Barbosa, Manoel Gontijo, Raul Damasceno, Paulus Van Der Ven e a todos os outros que de alguma forma contribuíram para este trabalho. Gostaria de agradecer também aos técnicos Marcos de Leão e Antônio de Freitas do Laboratório de Física de Rochas do Cenpes.

Referências

Biot, M. A., 1956, Theory of propagation of elastic waves in a fluid-saturated porous solid. I. low-frequency range II. higher-frequency range (J. Acous. Soc. Am., Vol. 28, No. 2, 168-191)

Castagna, J. P. and **Swan**, H. W., 1997, Principles of AVO crossplotting: The Leading Edge, **16**, no. 04, 337-342.

Damasceno, R. D. e **Barbosa**, F. 2004 Ocorrência de gás em AVO classe IV na Bacia de Santos. Anais do IX Simpósio de Geofísica da Petrobras, Aracaju, SE.

Dillon, L. D. and **Pinheiro**, J. E. F., 2000, Core-log analysis applied to pseudo elastic impedance feasibility studies, 62nd Mtg.: Eur. Assn. Geosci. Eng.

Gassmann, F., 1951, Elastic waves through a packing of spheres : Geophysics, Soc. of Expl. Geophys., **16**, 673-685.

Gontijo, M. dos S. e **Freire**, R. M. de Luna (2002) Análise dos parâmetros elásticos na Bacia de Camamu, Bahia. Anais do VIII Simpósio de Geofísica da Petrobras, Vitória, ES.

Greenberg, M. L. and **Castagna**, J. P., 1992, Shear-wave velocity estimation in porous rocks: Theoretical formulation, preliminary verification and applications : Geophys. Prosp., Eur. Assn. Geosci. Eng., **40**, 195-210.

Walls, J., 2000, Mud filtrate invasion correction, obtido do sítio www.rocksolidimages.com em 2000.

Wang, Z., 2000, The Gassmann equation revisited: Comparing laboratory data with Gassmann's predictions, Seismic and acoustic velocities in reservoir rocks, **19**: Soc. of Expl. Geophys., 8-23.

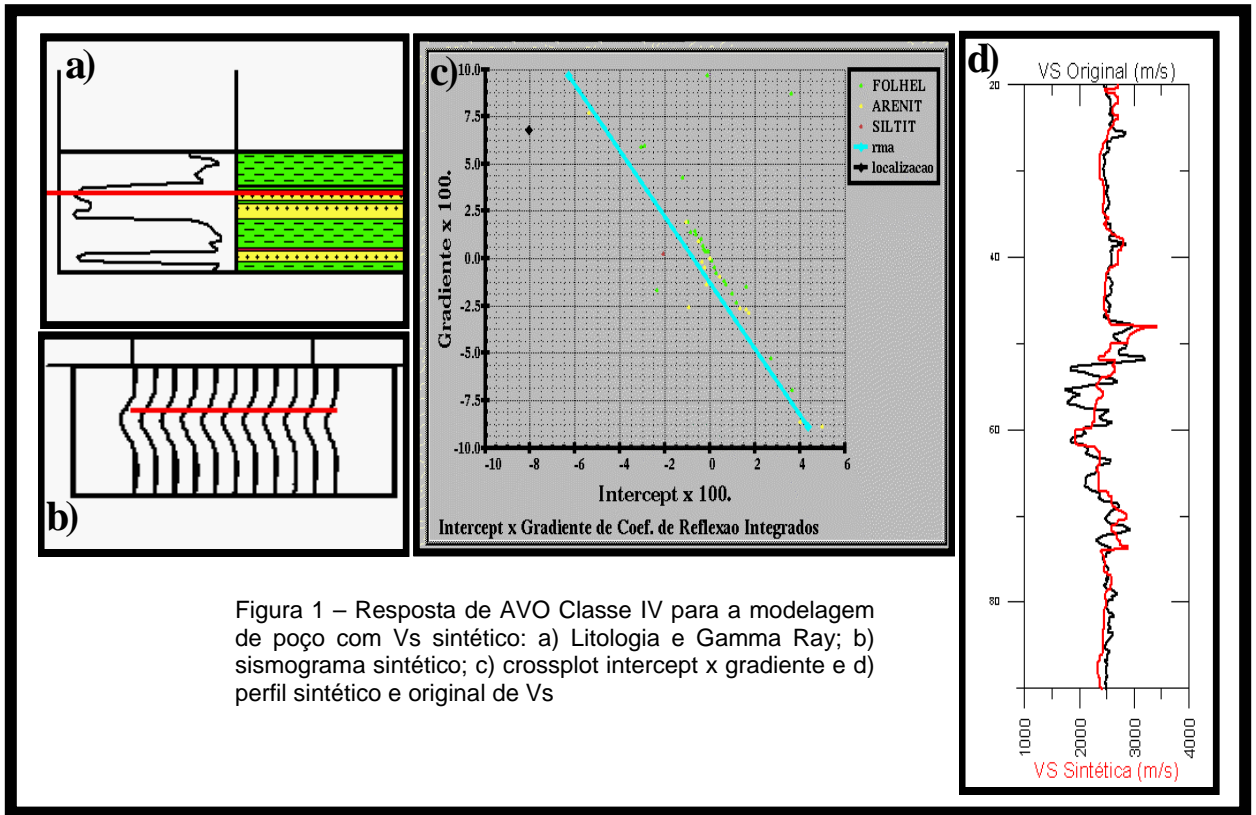


Figura 1 – Resposta de AVO Classe IV para a modelagem de poço com Vs sintético: a) Litologia e Gamma Ray; b) sismograma sintético; c) crossplot intercept x gradiente e d) perfil sintético e original de Vs

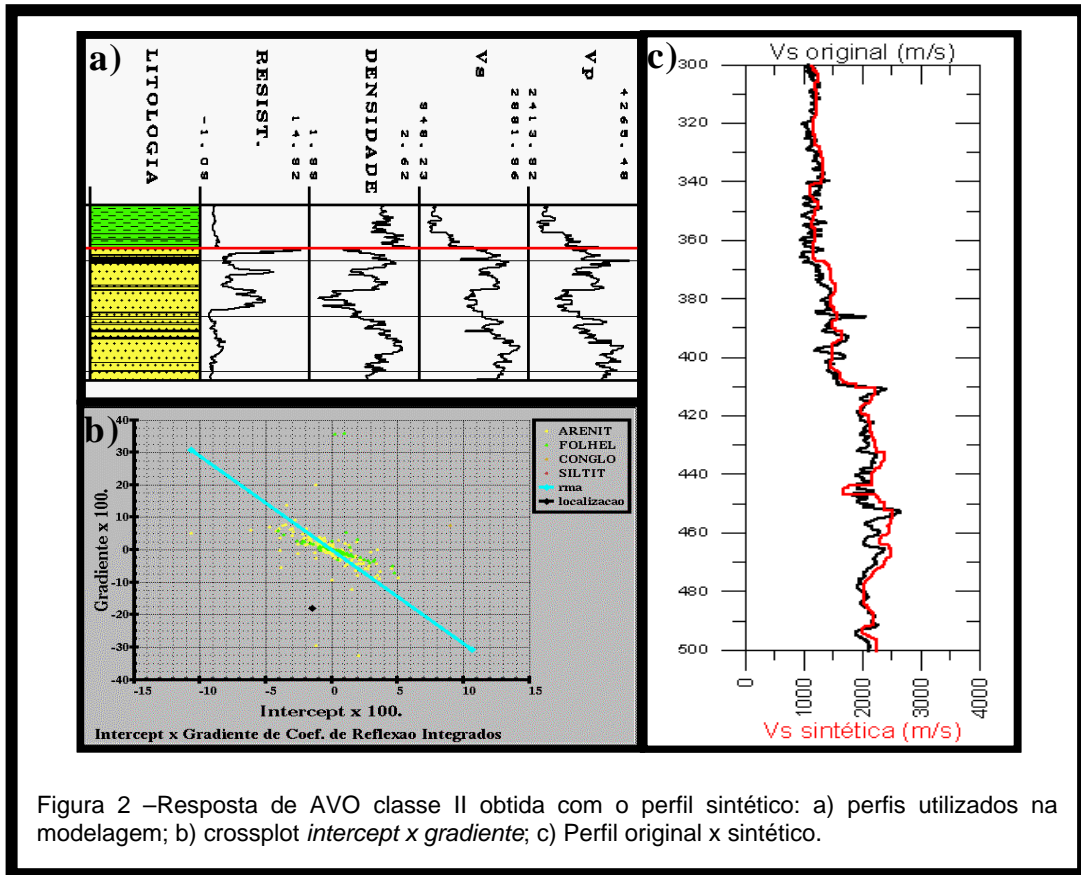


Figura 2 –Resposta de AVO classe II obtida com o perfil sintético: a) perfis utilizados na modelagem; b) crossplot *intercept x gradiente*; c) Perfil original x sintético.

