

# COMPORTAMENTO EXCÊNTRICO DO EFEITO *TUNING* EM SÍSMICA 4D

Marco C. Schinelli<sup>1</sup>

Recebido em 2 de abr., 2002 / Aceito em 12 de nov., 2003

Received Abr. 2, 2002 / Accepted Nov. 12, 2003

## ABSTRACT

The feasibility analysis of seismic monitoring of fluids flow in reservoirs, through consecutive seismic acquisition (known as 4D or time-lapse seismic), should not involve just the the laboratorial evaluation of modifications on physical response caused by the fluids substitution with the consequent variation of the elastic parameters, but mainly a previous phase of seismic modeling, whose importance is among others, to quantify the impact of the tuning effect that can subvert the expected amplitude variations after the time-lapse. In this sense such effect needs to be carefully investigated because, due to fluids substitution at the reservoirs level, the tuning variation can introduce a very important factor of influence on the seismic amplitudes, what can makes unfeasible the interpretation of the seismic 4D.

*Keywords:* Time-lapse seismic, 4D, tuning.

## RESUMO

A análise da viabilidade técnica para monitoramento do fluxo de fluidos em reservatórios, através de levantamentos sísmicos do tipo *time-lapse*, ou 4D, deve envolver não apenas a avaliação laboratorial das modificações provocadas no reservatório pela substituição de fluidos com a conseqüente variação dos parâmetros elásticos mas, principalmente, uma fase prévia de modelagem sísmica cuja importância pode ser, dentre outras, quantificar o impacto do efeito *tuning* que pode afetar as esperadas variações de amplitude após o *time-lapse*. Nesse caso, tal efeito precisa ser investigado com profundidade, pois devido à substituição de fluidos ao nível dos reservatórios, a variação do *tuning* observado em camadas delgadas pode introduzir um fator-modificação das amplitudes sísmicas que inviabilize a correta interpretação da sísmica 4D, especialmente quando se procura fazer uma interpretação mais quantitativa com a análise do comportamento de AVO e outras técnicas que exigem a investigação da variação de amplitudes.

*Palavras-chave:* monitoramento sísmico; 4D; interferência na forma do pulso.

---

<sup>1</sup> PETROBRAS S/A, Brazil. Escritório da Unidade de Negócio de Exploração e Produção da Bahia. Av. ACM 1113/433, Itaipara, Salvador, Bahia, Brasil. Tel.: (71) 350-4242, Fax: (71) 350-3031. E-mail: schinelli@petrobras.com.br.

## INTRODUÇÃO

Muitos são os requisitos técnicos necessários para assegurar o sucesso de uma aquisição sísmica do tipo *time-lapse* (4D), como é normalmente referenciada. Os elevados investimentos para aquisição de sucessivas imagens 3D sobre uma mesma área, necessárias à monitorização do movimento de fluidos no reservatório, tornam-se técnica bastante dispendiosa — o que por si só justifica quaisquer esforços para seu perfeito planejamento. Vários são os autores — Lumley, Behrens e Wang — que já empenharam esforços na identificação de instrumentos para quantificação da viabilidade técnica de levantamentos desse tipo. Dentre os vários fatores de risco para um levantamento 4D está a capacidade de discriminação temporal do reservatório a ser monitorado. Neste contexto, a resolução sísmica e a espessura do reservatório são elementos fundamentais a considerar.

Com base na análise de modelagem sísmica podem ser feitas predições sobre o efeito do *tuning* e a capacidade de monitoramento do 4D, e obtidas informações importantes para a estratégia de aquisição, processamento e interpretação dos resultados do *time-lapse*.

## ETAPA DE ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA

O Campo em foco, cujo mapa estrutural sísmico ao nível do topo do reservatório, está mostrado na Figura 1, foi escolhido para um estudo da viabilidade técnica de monitoramento da injeção de CO<sub>2</sub>, através do uso de sísmica 4D. Dentre as etapas dessa análise constou a estimativa da eficácia do monitoramento sísmico, usando técnica de ranqueamento segundo critérios sugeridos por técnicos da Chevron (ver bibliografia) e apresentada na Tabela 1. Observar que os valores da escala variam de 0 a 45 (valor máximo correspondente ao prospecto ideal). Nessa classificação, o 4D analisado situou-se no grau 27, um valor pouco acima da média para prospectos 4D. Entretanto, a metodologia usada desconsidera a importância de fatores altamente críticos que podem até mesmo inviabilizar o sucesso do *time-lapse*



Figura 1 — Bloco principal do campo estudado  
Figure 1 — Localization of the studied area

Tabela 1 — Quantificação dos fatores de risco para o 4D proposto  
Table 1 — Quantification of the risk factors for the 4D proposed

TABELA TOTALIZADORA DO RISCO				
<b>Reservatório</b>				
módulo de bulk				1
contraste da compressibilidade de fluidos(%)				5
mudança da saturação do fluido(%)				2
porosidade(%)				3
mudança de impedância(%)				3
mudança de tempo de transição de amostras)				1
<b>Total do reservatório</b>				<b>15</b>
<b>Sísmica</b>				
razão sinal/ruído				60=4
resolução média(ft)				35=3
visibilidade do contato de fluidos				1
repetibilidade				4
<b>Total da sísmica</b>				<b>12</b>
<b>Score Total</b>				<b>27</b>

## MODELAGEM DO EFEITO TUNING

O poço usado na análise, encontrava-se, na época da aquisição dos perfis, na área do campo dentro da capa de gás para o intervalo do reservatório a ser estudado. Para efeito da modelagem foi usada a substituição inversa, isto é, adicionou-se óleo ao intervalo compreendido entre o topo da Fm. Sergi e o paleosolo subjacente — que funciona como selo limitador daquele intervalo em relação às outras zonas do reservatório. É também na porção superior desse intervalo que está sendo injetado o CO<sub>2</sub>. Como para efeitos práticos o gás associado e o CO<sub>2</sub> a ser injetado têm diferenças de gravidade que pouco influenciam os resultados, foram usados os parâmetros do gás do reservatório.

A Figura 2 mostra o trecho analisado no poço. Observar que o intervalo tem espessura em torno de 15m. Atentar também para a presença da camada de paleosolo cujo aparecimento marca o limite inferior da primeira zona do reservatório Sergi na área. Este paleosolo, que tem expressão regional, é constituído de pacotes sílticos argilosos e tem espessura de até 3m. Seu comportamento sísmico é marcado por um alto valor de impedância, superior ao do arenito sobrejacente o que normalmente resulta num alto coeficiente de reflexão na interface, que devido a proximidade da reflexão do topo da zona superior do Sergi provoca forte interferência das duas reflexões. O objetivo da modelagem foi investigar o comportamento de amplitudes no topo do reservatório e principalmente a interferência provocada pelo paleosolo.

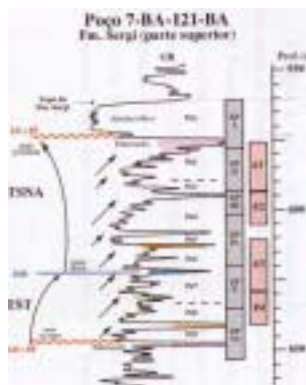


Figura 2 – O Paleosolo- Tem expressão regional e espessura média de 3m , sendo constituído de pacotes silítico-argilosos com alto coeficiente de reflexão.

Posiciona-se entre 15 a 30m do topo da Fm. Sergi

Figure 2 – The hardground has regional expression and medium thickness of 3m, being constituted by shaly sandstones with high reflection coefficient. It is positioned among 15 to 30m bellow the top of Sergi formation.

Para maior fidelidade durante a modelagem foi extraído do próprio dado sísmico o pulso a ser usado na modelagem. Nos casos em que não se tenha ainda adquirido o 3D base, a análise poderia ser feita com um pulso extraído de uma linha 2D da área com parâmetros aproximados aos que se pretende usar no 4D. A importância dessa etapa é: trabalhar na modelagem com a resolução sísmica real que é um dos requisitos fundamentais para análise do efeito do *tuning*. A fase do pulso sísmico pode ser estimada por correlação entre o sismograma sintético e a sísmica disponível.

Para avaliação da relação  $V_p/V_s$  no reservatório foi usada a fórmula empírica de Greenberg/Castagna .

Apesar das aproximações decorrentes, desde que se conheça a litologia e porosidade com certa precisão os valores são aceitáveis para uma estimativa dessa natureza.

### ANÁLISE DOS RESULTADOS

A Tabela 2 mostra a variação de amplitude estimada ao nível do topo da Fm. Sergi, do poço modelado para diferentes saturações em amplitude e impedância elástica. Nas situações extremas de saturação observar que a variação da posição do paleosolo provoca reduções de até 20% nas amplitudes.

A Figura 3 mostra os perfis sintéticos, baseados nas propriedades médias reais dos intervalos e nas diferentes espessuras, entre os topos da Fm. Sergi e do paleosolo, usados na modelagem do Efeito *Tuning*, utilizando a *wavelet* extraída dos dados sísmicos .

Tabela 2 – Valores de amplitude para diferentes saturações, medidos em amplitude convencional e impedância elástica. Os 3 valores em cada coluna correspondem à amostragem dos lobos superior, principal e inferior da *wavelet* correspondente a reflexão no topo do reservatório.

Table 2 – Amplitude value for different saturations, measured in conventional amplitude and elastic impedance. The three values in each column correspond to the samples from the upper, middle and lower wavelet lobes corresponding to the reflection in the top of the reservoir

Parâmetros	Densidade	VP	VS	Amp. Stack	Amp. 0°	Amp. 20°	Amp. 40°	Varição %
Fluido/tipo	2.14	2868	1294	-481	-604	-500	-302	0
Amplitude	2.49	3722	2028	611	881	639	336	2.5
Gás-100%				-452	-611	-475	-225	8.5
Amplitude	2.21	2949	1252	-353	-484	-377	-147	
Óleo-100%	2.59	3846	1980	611	783	636	367	
				-543	-689	-564	-363	
Imp. elás.				-1282	-1654	-1351	-681	11.5
Gás-100%				1451	1927	1509	835	37
				-447	-638	-487	-114	18
Imp. elás.				-937	-1324	-1015	-283	
Óleo-100%				1767	2175	1801	1312	
				-680	-884	-772	-324	

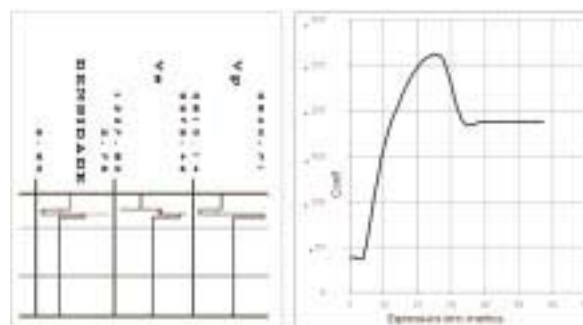


Figura 3 – Perfis modelados para situação original, após substituição de fluidos (esquerda) e função *tuning* correspondente para várias espessuras (direita).

Figure 3 – Modeled logs for original situation and after fluids substitution (left) and the function corresponding to the tuning for different thickness (right).

Usando as resposta de amplitude modelada para os perfis sintético, com variadas espessuras, foram gerados mapas de amplitude, através de modelagem convolucional simples No mapa da Figura 4, tem-se a distribuição dos valores que seriam obtidos na interface

correspondente ao topo da Fm. Sergi, com base na modelagem do *tuning*. Nesse mapa, os valores de amplitude já estão influenciados pelo *tuning*, com a condição de saturação original do reservatório e poderiam, numa

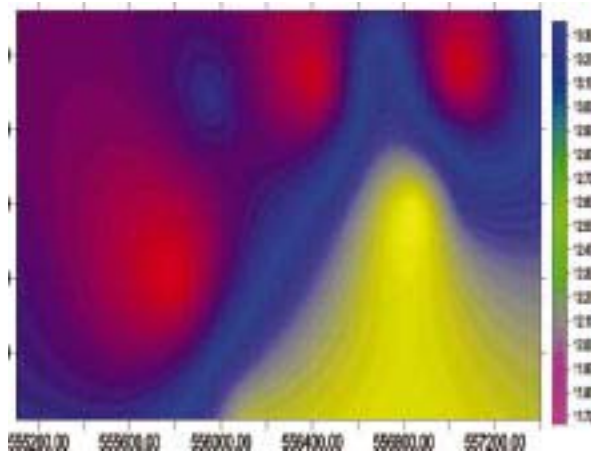


Figura 4 – Mapa de amplitudes modeladas para a situação original de saturação do reservatório.  
*Figure 4 – Modeled amplitude map for the original reservoir saturation condition.*

análise precipitada, ser correlacionados com a presença de hidrocarbonetos no intervalo. Nos mapas seguintes são simuladas as diferenças de amplitude que seriam observadas após a injeção, em duas situações distintas: saturação total de óleo de 100% para todos os poços (Figura 5) e 50% apenas para os três poços mais a nordeste da

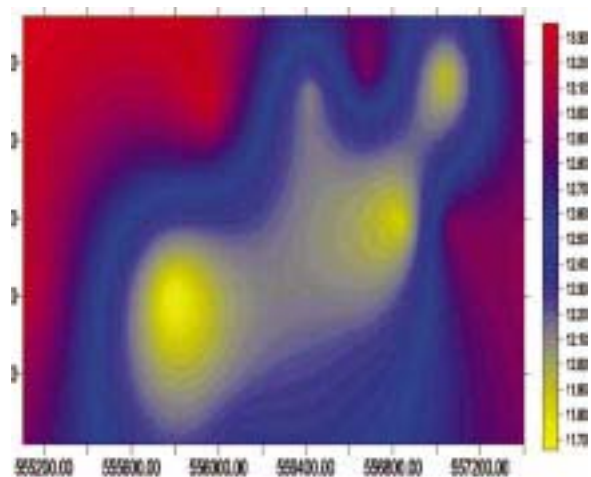


Figura 5 – Mapa de amplitudes para 100% de óleo em todos os poços.  
*Figure 5 – Amplitude map for 100% of oil in all the wells*

área (Figura 6). Observa-se que os mapas são influenciados pela variação do efeito de *tuning* e não refletem fielmente as variações de saturação consideradas – o que pode dificultar a interpretação dos resultados do *time-lapse* –, falseando a predição da anisotropia do fluxo e consequentemente influenciar negativamente a estratégia da injeção.

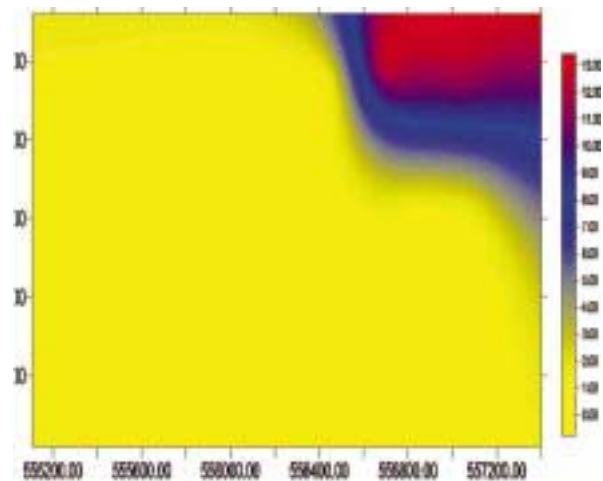


Figura 6 – Mapa de amplitudes para 50% de saturação de óleo apenas para três poços mais a NE da área.  
*Figure 6 – Amplitude map for 50% of oil saturation only on the wells on the northeast portion of the area.*

A variação no efeito do *tuning*, após a substituição de fluidos, deve-se a variação dos atrasos na reflexão no topo do paleosolo, que é diferente para cada poço, ocasionada pela variação de saturação e consequentemente variação de  $V_p$ .

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Fica evidente que o efeito *tuning* tem comportamento excêntrico em situações onde o reservatório passe por substituição de fluidos e tal variação do efeito pode até mesmo impedir a interpretação da sísmica 4D ou correlação fiel dos mapas de diferenças de amplitudes com a variação de saturação ao nível dos reservatórios. Assim sendo, é importante, especialmente para reservatórios delgados, onde a variação de tempo de trânsito devido às modificações de velocidade de propagação no reservatório são imperceptíveis, restando apenas a variação de amplitudes como ferramenta de interpretação do 4D, que se avalie profundamente o efeito *tuning*. Esse tipo de análise oferece ainda informações adicionais que podem ajudar nas etapas de aquisição, processamento (por exemplo, recomendando diminuição do intervalo

de amostragem, maior atenção na recuperação de altas frequências através de algoritmos de deconvolução, inversão para IE etc) e mesmo na interpretação onde o uso de atributos “não-tradicionais” – frequência instantânea que é boa indicadora de efeitos de *tuning*; análise do comportamento de AVO e outras técnicas que podem ajudar na estimativa e remoção da influência do efeito de *tuning* na resposta do 4D –, e finalmente permitir correlacionar (de forma mais confiável) variações de amplitudes com diferenças de saturação.

### Agradecimentos

À Petrobrás pela oportunidade de apresentação deste trabalho e aos colegas Aurino Aragão, Benildo Casanova, Alcides Aggio e Eduardo Ferrer pela contribuição para diversas etapas desta análise.

### REFERÊNCIAS

- LUMLEY, David E.; BEHRENS, Ronald; WANG, Zhijing. Assessing the technical risk of a 4-D seismic project. *The Leading Edge*, La Habra, v. 16, n. 9, p. 1287-1291, September 1997. Chevron Petroleum Technology Company, 1998.
- SAVINI, R.; OLIVEIRA, Flávio M. de. *Análise faciológica e estratigráfica da Porção Superior da Formação Sergi no bloco principal do campo estudado na Bacia do Recôncavo*. Petrobrás, E&P-BA/GEXP,GELAB. Relatório interno, ago. 1994.
- LIN, T. L.; PHAIR, R. Texaco Exploration & Production, Inc., AVO Tuning. In: ANNUAL MEETING INTERNATIONAL, 63., 1993, [S. l.]. *Expanded Abstracts*. [S. l.: s. n.], 1993, p. 727-730.

### NOTA SOBRE O AUTOR

Marco Cesar Schinelli é graduado em Geologia pela Universidade Federal da Bahia em 1979, trabalha desde então na Petrobras, já tendo atuado nas áreas de aquisição, processamentos sísmico terrestre e marítimo, interpretação exploratória e exploratória. Atualmente, como consultor sênior, se dedica a processos de caracterização sísmica de reservatórios em campos terrestres maduros da bacia do Recôncavo, com particular interesse em sísmica multicomponente, 4D, sísmica de poço e técnicas avançadas de interpretação sísmica.