



Crossequalização antes do estaqueamento – Benefícios para a sísmica 4D

Alexandre de Pinto Braga, Marco Cesar Schinelli, Selma dos Santos Sacramento. PETROBRAS S/A, Brazil

Copyright 2003, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 8th International Congress of The Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 14-18 September 2003.

Contents of this paper was reviewed by The Technical Committee of The 8th International Congress of The Brazilian Geophysical Society and does not necessarily represents 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.

Resumo

A Crossequalização, etapa do processamento de dados sísmicos 4D é fundamental para sucesso desta técnica de monitoramento dinâmico de reservatórios e, vem sendo feita rotineiramente após o estaqueamento e migração dos dados. Em situações em que é repetida a mesma geometria de aquisição nos sucessivos levantamentos sísmicos, opção muito comum nos levantamentos 4D em áreas terrestres, ou aquisições com receptores de fundo em áreas marinhas, pode ser utilizada a alternativa de crossequalização antes do estaqueamento, com sensíveis benefícios em relação ao procedimento convencional.

Introdução

O monitoramento sísmico de reservatórios através da repetição sobre uma mesma área, de sucessivas aquisições sísmicas 3D ao longo da história de produção de um campo é uma técnica conhecida como sísmica 4D ou *time-lapse*. Além dos estudos de viabilidade técnica para determinar sua aplicabilidade, o processamento conjunto das sucessivas aquisições sísmicas, também chamado de crossequalização é etapa indispensável, pois mesmo em sistemas de aquisição fixos, com repetição do mesmo posicionamento de fontes e receptores e demais parâmetros durante as sucessivas aquisições, ocorrerão sempre indesejáveis diferenças que não estão associadas às modificações físicas ocorridas no reservatório. A correção de tais distorções, que é normalmente feita após o estaqueamento e migração dos dados sísmicos pode, alternativamente, como demonstrará este trabalho, ser feita antes do empilhamento, com indiscutíveis vantagens em relação ao procedimento convencional.

O papel da crossequalização na sísmica 4D - O objetivo da sísmica 4D é detectar mudanças de resposta sísmica das sucessivas campanhas de aquisição, ao nível dos reservatórios que estão em produção e muitas vezes submetidos à injeção de fluidos, mudanças estas ocasionadas por variações de pressão e saturação, dentre outras mudanças físicas que ocorrem nos

reservatórios. Em tese, bastaria a simples subtração dos sucessivos volumes de sísmica 3D para obtenção de um novo volume com diferenças observáveis somente ao nível dos reservatórios. Contudo, variações dos parâmetros de aquisição, posicionamento dos tiros e receptores ou variações das condições superficiais são alguns dos fatores que produzem diferenças entre as sucessivas aquisições e que não estão associadas as variações de comportamento acústico ao nível dos reservatórios. Para resolver tal problema a solução normalmente adotada no fluxograma de processamento destes dados é a crossequalização feita após o estaqueamento. Naquela etapa, pontos de incidência comum após o estaqueamento, das sucessivas aquisições, e que tenham a mesma posição espacial, são analisados conjuntamente em uma janela em tempo escolhida em torno de um horizonte para o qual não se espera variação da resposta sísmica nas sucessivas aquisições (intervalo não reservatório, também chamado de horizonte-guia). As diferenças de amplitude, fase e tempo são então calculadas na janela de análise posicionada sobre o horizonte-guia e os operadores que equalizam tais variações são utilizados para todo o traço de cada aquisição. Desta forma se espera corrigir as diferenças indesejáveis entre as sucessivas aquisições e que não estejam associadas à mudanças físicas ao nível dos reservatórios. Como para o cálculo das variações foi usada uma janela de dados não afetada pela variação do reservatório se espera estar corrigindo somente as variações relacionadas à aquisição.

Método

Para investigar as vantagens da crossequalização antes do empilhamento, em relação ao procedimento convencional, utilizamos modelagem numérica por traçado de raios, sobre um modelo simples com seis interfaces plano paralelas com parâmetros elásticos das camadas compreendidas entre elas conforme listados na Tabela 1.

Camada	Velocidade P	Velocidade S	Dens.
1	2200	1100	2.3
2	2600	1300	2.33
3	2700	1350	2.35
4	2890	1450	2.40
5	3400	1700	2.45
6	3500	1800	2.50
7	3700	1850	2.53

Tabela 1 Propriedades das sete camadas definidas pelas seis interfaces – Vp e Vs em m/s e densidade em g/cm³

A aquisição 2D foi feita com um total de 150 tiros sobre superfície plana, ao nível do mar, espaçados de 20 metros e com receptores a cada 20 metros. O afastamento mínimo do arranjo do tipo *end-on* foi de 100 m e o máximo de 2080 m. O tempo de registro foi de 2000 ms, com intervalo de amostragem de 4 ms. A Figura 1 mostra a seção vertical do modelo utilizado e um feixe de raios para um dos tiros.

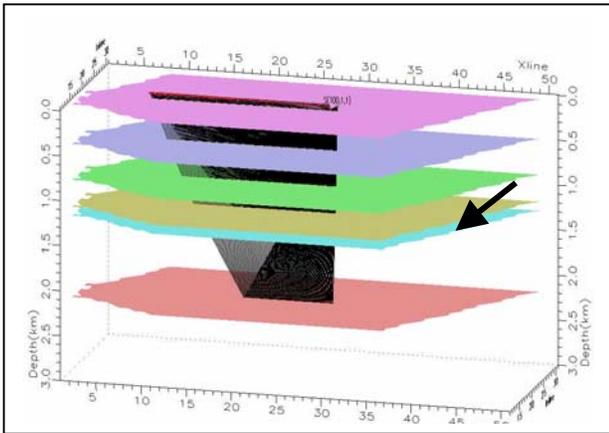


Figura 1 – Modelo usado na aquisição e traçado de raios para um dos tiros. A seta indica o intervalo do reservatório

Na Figura 2 observa-se o sismograma correspondente, onde está indicada a reflexão correspondente ao topo do reservatório. Para a segunda aquisição o intervalo correspondente ao reservatório foi modelado com redução de 10% sobre o valor original de impedância, uma redução razoavelmente detectável com sísmica 4D. Além da segunda aquisição, com variações somente de refletividade ao nível do reservatório, será gerada uma terceira aquisição, onde serão simuladas diferentes variações de amplitude, tempo (variação estática) e fase, aplicadas aleatoriamente em alguns dos registros da segunda aquisição (Figura 3), simulando assim a ocorrência de variações indesejáveis entre as duas sucessivas aquisições, situação usual em aquisições 4D.

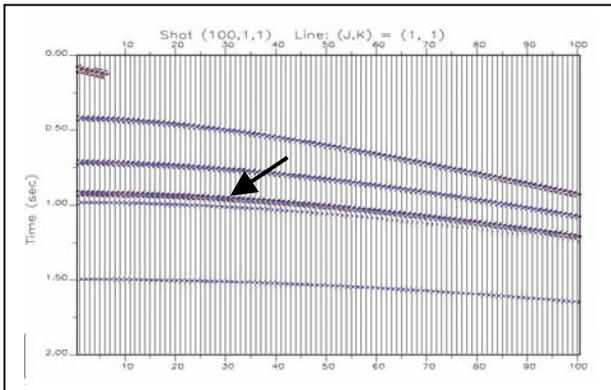


Figura 2 – Sismograma correspondente ao tiro mostrado na figura 1 – A seta indica as reflexões do topo e base do reservatório

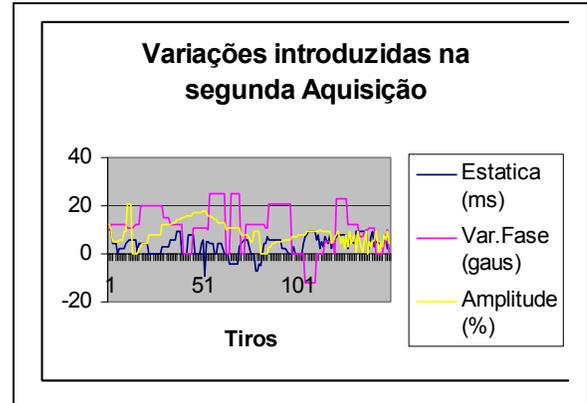


Figura 3 – Variações de amplitude, fase e de deslocamento estático introduzidas aleatoriamente em tiros da segunda aquisição.

No primeiro fluxograma será usada a crossequalização convencional após estaqueamento sobre a aquisição original (figura 4). Neste primeiro fluxograma não serão simuladas variações de aquisição, mas somente ao nível do reservatório. No segundo fluxograma alternativo será feita a crossequalização antes e após o estaqueamento, para a aquisição original e a aquisição onde foram introduzidas variações. Os resultados obtidos com a crossequalização pré-empilhamento produzirão, conforme esperado, resultados muito mais consistentes com as variações esperadas ao nível dos reservatórios.

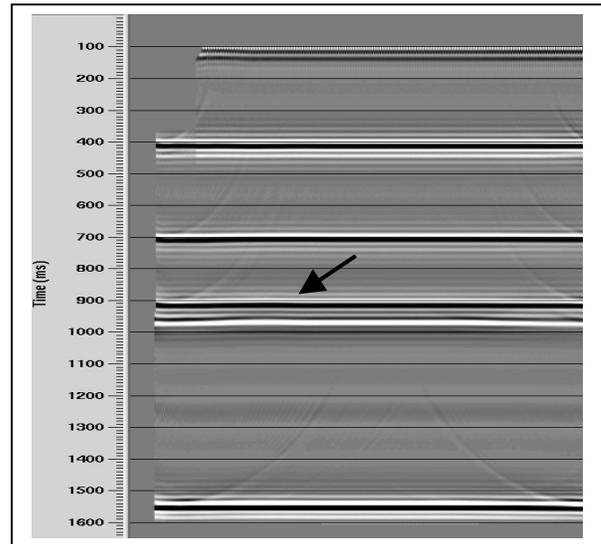


Figura 4 – Seção estaqueada da primeira aquisição. Observar a refletividade do topo do reservatório.

Resultados e conclusões

A seção de diferenças entre os dois levantamentos, utilizando o primeiro fluxograma (sem a introdução de variações entre as duas aquisições) é mostrada na Figura 5, onde se observam variações ao nível do reservatório e abaixo dele. Como esperado, esta é a resposta de um 4D ideal, sem que existam variações de aquisição e portanto sem exigir a crossequalização. Para análise do efeito da crossequalização antes e após o estaqueamento estão sendo geradas seções de diferenças entre a primeira e a segunda aquisição, para cada um dos dois diferentes fluxogramas. A diferença entre os dois métodos deverá mostrar a vantagem da crossequalização antes do empilhamento, reproduzindo mais fielmente as diferenças reais ao nível dos reservatórios como mostrado na figura 5. Observa-se ainda que mesmo na situação ideal, inexistência de variações nas sucessivas aquisições, existem pequenas diferenças introduzidas pela variação de refletividade ao nível dos reservatórios que provocam variações mesmo na seqüência de reflexões subjacentes, devido a variações da migração que “espalha” mais energia para os horizontes mais rasos, ou mesmo provoca variação no padrão de reverberações internas, o que pode também afetar eventos mais rasos que o reservatório

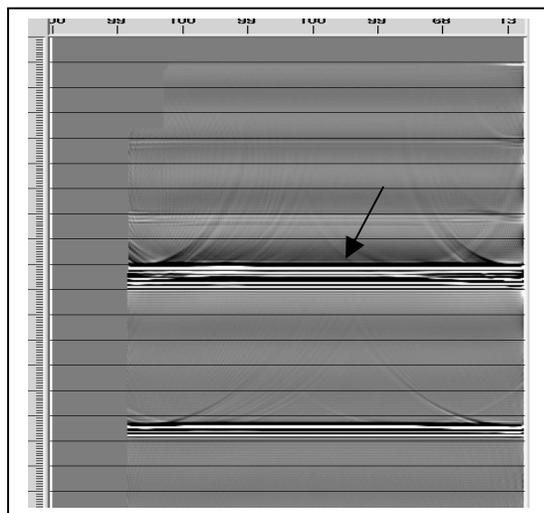


Figura 5 – Seção de diferenças, entre as aquisições com variações apenas ao nível dos reservatórios. A seta identifica o reservatório. Observar as variações da migração, devido à variação da refletividade ao nível do reservatório

Embora as operações de filtragem usadas na crossequalização sejam matematicamente independentes da sua ordem de execução em relação ao estaqueamento, na prática existem operações não lineares que atuam antes do estaqueamento, como a correção de moveout, ou a deconvolução, e que podem, por si só, justificar a diferença da crossequalização feita antes ou após o estaqueamento. Este resultado

demonstrará a importância da crossequalização antes do empilhamento e o risco que o procedimento convencional apresenta, especialmente naquelas situações em que ocorram grandes variações entre as sucessivas aquisições, o que, na verdade, representa uma regra no monitoramento sísmico dinâmico.

Agradecimentos

Agradecemos a Petrobras pelo apoio para realização desta análise e apresentação de seus resultados, e ao geofísico Raimundo Mesquita L. Freire pelo auxílio em discussões e processamento dos dados sintéticos.

Referências

- C.P.Ross, G. B. Cunningham, P. Weber, *Inside the crossequalization black box. The leading Edge, November, 1996*
- Lumley, D. E., Behrens, R. A., Wang Z. *Assessing the Technical Risk of a 4-D Seismic Project. The Leading Edge, september, 1997.*