

5º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

Refletividade Sísmica a partir de Técnicas de Imageamento Controlado

AUTORES:

Josias José da Silva¹, Djalma M. S. Filho², Luiz Landau¹

INSTITUIÇÃO:

¹LAB2M/COPPE/UFRJ - ²CENPES/PETROBRAS

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 5º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás- 5º PDPETRO, realizado pela Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás-ABPG, no período de 15 a 22 de outubro de 2009, em Fortaleza-CE. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 5ºPDPETRO.

REFLETIVIDADE SÍSMICA A PARTIR DE TÉCNICAS DE IMAGEAMENTO CONTROLADO

Abstract

One of the main objectives of seismic imaging is to generate maps of the Earth's reflectivity function, which can be inferred about the physical properties of rocks in their locations. The amount of energy that is reflected on an interface depends on the incident's wave field angle, called AVA (Amplitude vs. Angle) function. In the methodology proposed in this work, the seismic data recorded on the surface is extrapolated to a region just above the datum of the exploratory interest (defined by interpreters). This redatum is achieved by a generalization of the concept of reverse time migration in which common focus point gathers are extrapolated. The synthesis' operators and extrapolations of the direct and reverse fields are made for solutions of acoustic complete wave equation by finite differences method. It was proposed a new imaging condition based on the sum of modules of amplitudes around the wavelet of maximum amplitude. As a result of this methodology, we have obtained graphs of reflectivity, i.e., amplitude based on incidence's angle, corrected from effects of propagation (specifically, spherical divergence, transmission and conversion). To conclude, it is possible to have more reliable input data for local inversion in order to obtain the petrophysical parameters.

Introdução

Um caso particular da técnica de imageamento controlado *Areal Shot Records* é o conceito de família *Common Focus Point* (Berkhout, 1997 - Parte I e Parte II), ou simplesmente família CFP. A técnica CFP tem se mostrado bastante útil no sentido de minimizar ou reduzir a influência das estruturas geológicas que estão acima das regiões de interesse exploratório. O objetivo, neste caso, é de levar os dados sísmicos da superfície para um ponto focal numa profundidade estrategicamente escolhida. Desta forma é possível obter um registro sísmico na profundidade do ponto focal, reduzindo a influência das reflexões associadas à geologia que está acima deste ponto. Este processo é feito a partir da extrapolação direta do campo de onda gerado por uma fonte posicionada no ponto focal em profundidade. O registro na superfície deste campo é usado para a geração do operador CFP. A família CFP é gerada pela convolução do operador CFP com os sismogramas de superfície. A extrapolação reversa da família CFP realiza a redatumação dos dados para a profundidade escolhida.

A técnica CFP desempenha um papel importante na determinação da função refletividade dentro da metodologia proposta neste trabalho. No entanto, o objetivo do uso desta técnica é o de extrapolar os dados sísmicos para um ponto próximo à profundidade do refletor o qual deseja-se obter a variação da refletividade com o ângulo de incidência. Este mesmo conceito tem sido utilizado por Berkhout, 1992, Thorbecke, 1997 e Winthagen, 1998 para o imageamento em tempo. Estes encontram os operadores e famílias CFP e as redatam em tempo, não usando macro-modelos de velocidade que, em suas opiniões, deverão ser encontrados em uma etapa posterior, sendo os operadores de síntese usados como dados de entrada para tomografia envolvendo famílias CFP. Fato este que os limitam a modelos sem grandes variações laterais de impedância acústica, não sendo indicado em situações geológicas que apresentem altas complexidades estruturais.

Um dos principais objetivos do imageamento sísmico é a geração de mapas da função refletividade da Terra, com os quais podem-se inferir informações sobre as propriedades físicas das rochas nas suas localizações. A característica mais importante do processo de reflexão é sua dependência com o ângulo, ou seja, a quantidade de energia que é refletida em uma interface depende do ângulo de incidência do campo de ondas com relação à normal do refletor, a qual é denominada função AVA

(*Amplitude versus Angle*). Em geral, a determinação das propriedades da reflexão relativas ao ângulo é um importante objetivo dentro do processo de migração (de Bruin, 1992). No entanto, na prática, ao invés de se realizar inversões para a determinação de parâmetros petrofísicos nas interfaces que separam diferentes litologias usando a função AVA, o que se faz é desprezar toda a estrutura superior (*overburden*) e usar como dado de entrada a função AVO (*Amplitude Versus Offset*). Em meios suaves que não apresentam variações laterais de impedância, usar AVO ou AVA não faz muita diferença; pois de certa forma *offset* e ângulo de incidência estão relacionados. Contudo, em meios que apresentam altas complexidades estruturais acima ou no entorno dos objetivos, AVO e AVA não possuem uma relação simples. É importante ressaltar que os dados de entrada para as Equações de Zoeppritz (Zoeppritz, 1919 apud Castagna e Backus, 1993) são o AVA e não o AVO. Neste trabalho, o autor propõe uma metodologia para encontrar essa função, corrigindo os efeitos de propagação (especificamente, divergência esférica, transmissão e conversões de ondas) através da generalização do conceito de Migração Reversa no Tempo e com isso fornecendo dados de entrada mais precisos para inversões locais de parâmetros petrofísicos.

Metodologia

No esquema proposto neste trabalho, as extrapolações são feitas com o uso da equação completa da onda a qual não está limitada a nenhuma complexidade geológica, tais como as encontradas em algumas bacias sedimentares, como domos e/ou camadas de sal (bacias costeiras brasileiras, por exemplo), soleiras de diabásio (Bacia do Solimões) ou estruturas compressivas com falhas de altos mergulhos (bacias sub-andinas), etc. As redatumações são feitas em profundidade utilizando a Migração Reversa no Tempo, ou seja, assumi-se o conhecimento da estrutura geológica, o que diante das técnicas de processamento e inversões atuais é bastante razoável, pois o que se necessita são as informações do macro-modelo de velocidades e não os seus detalhes. Assim, após a aplicação da transformada τ -p sobre os dados das famílias CFP's redatutados é possível obter a função refletividade numa interface em profundidade conhecida (já estruturalmente interpretada) a qual pode ser plano-horizontal ou não.

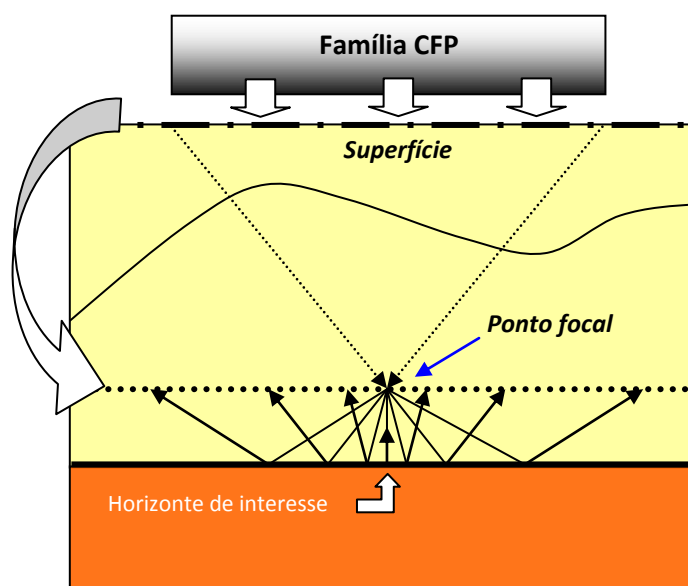


Figura 1: Diagrama esquemático da redatumação da família CFP para um novo datum de aquisição.

Ao usar extrapolações por soluções da equação da onda (sem aproximações de Born ou assintóticas), a metodologia deste trabalho se propõe a determinar a função refletividade em torno ou abaixo de estruturas complexas.

A Figura 1 apresenta um esquema simplificado da extrapolação reversa dos dados da família CFP para um ponto focal acima do refletor de interesse (z_m). O registro das reflexões após o colapso da energia no ponto focal carrega informações das dependências das amplitudes do campo refletido com o ângulo de incidência. Desta forma, foi ampliado o conceito de condição de imagem para obtenção das matrizes de tempo de trânsito baseada na amplitude máxima proposta por pioneiros como Botelho e Stoffa (1988) e Loewenthal e Hu (1991), onde apenas um único valor de amplitude é considerado para a aplicação da condição de imagem de tempo de excitação (Chattopadhyay and McMechan, 2008).

A metodologia proposta neste trabalho aplicada para o caso acústico segue os seguintes passos:

1. *Definição do ponto de interesse (A) e do novo datum de aquisição em sub-superfície nas proximidades do refletor a ser estudado;*
2. *Obtenção do operador de síntese na superfície do modelo a partir de uma fonte pontual posicionada no ponto (A) utilizando um macro-modelo sem os refletores abaixo deste ponto;*
3. *Obtenção do campo incidente nas proximidades do refletor de interesse:*
 - a. *Extrapolação reversa do operador de síntese;*
 - b. *Transformada Tau-Pi do campo incidente;*
4. *Obtenção do campo refletido nas proximidades do refletor de interesse:*
 - a. *Obtenção da família CFP na superfície através da propagação do operador de síntese utilizando o modelo de velocidade completo;*
 - b. *Redatumação da família CFP para a nova superfície de aquisição;*
 - c. *Transformada Tau-pi da família CFP redatumaada;*
5. *Obtenção da condição de imagem baseada na amplitude máxima e na soma dos módulos das amplitudes;*
6. *Obtenção da função refletividade baseada na amplitude máxima (Equação 2) e na soma dos módulos das amplitudes (Equação 3) dentro de um intervalo temporal (t_{min} e t_{max}) que contém a amplitude máxima (Silva, 2009).*

$$\begin{aligned}
 Ref_{Amp}(p, z_m) &= \frac{P_{ref}(p, t = t_{pref_max})}{P_{inc}(p, t = t_{pinc_max})} \\
 Ref_{Soma}(p, z_m) &= \frac{\sum_{t=t_{min}}^{t=t_{max}} |P_{ref}(p, t)|}{\sum_{t=t_{min}}^{t=t_{max}} |P_{inc}(p, t)|}
 \end{aligned} \tag{1}$$

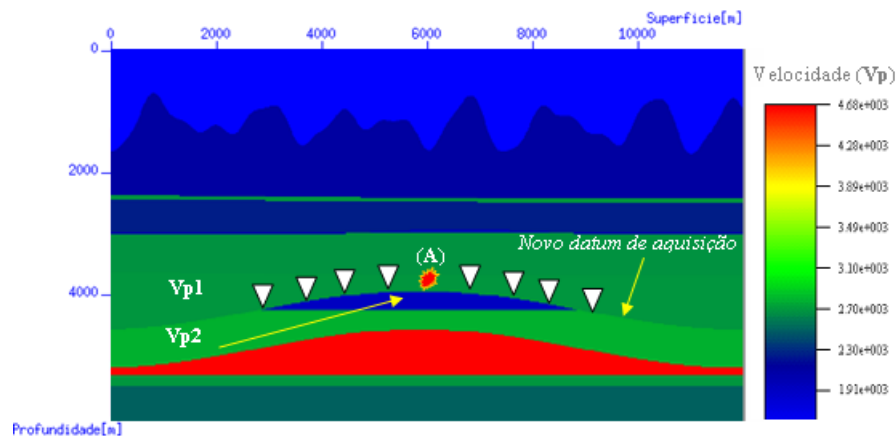


Figura 2: Modelo de velocidade compressional apresentando a disposição do ponto A e dos receptores no novo datum de aquisição próximos ao refletor de interesse.

Resultados e Discussão

A metodologia proposta neste trabalho foi aplicada ao modelo de velocidade da Figura 2 com o objetivo de identificar as variações das amplitudes de reflexão em função do ângulo de incidência entre as camadas Vp1 e Vp2. Os valores dos parâmetros de aquisição e modelagem utilizados nesta simulação são os seguintes:

- Dimensões: 12,0 km x 6,0 Km;
- Densidades constantes e iguais a 1,0 g/cm³;
- Vp1 = 2300 m/s; Vp2 = 3000 e 1900 m/s;
- Parâmetros de aquisição:
 - Intervalo de amostragem temporal: 0,5 ms;
 - Tempo de registro: 7,0 s;
 - Intervalo entre estações: 12,0 m;
 - Intervalo entre tiros: 12,0 m;
- Parâmetro do raio máximo: 400×10^{-6} s/m;
- Delta p: $\Delta p = 4,0 \times 10^{-6}$ s/m.

A Figura 3 apresenta os *snapshots* da propagação do operador CFP como objetivo de se obter o campo refletido no novo datum de aquisição, que neste caso está 12 m acima da camada Vp2. Para atingir este objetivo, foi necessária a geração da família CFP, que para o caso de dados sintéticos pode ser obtida pela propagação reversa do operador de síntese CFP registrando na superfície o campo de onda que retorna das reflexões nas interfaces do modelo de velocidade. Este procedimento é válido para sistemas de aquisição não convencionais onde o registro é feito ao longo de toda a superfície do modelo. O resultado da redatumação da família CFP pode ser visto na Figura 4 no domínio do tempo (c) e no domínio Tau-p (d).

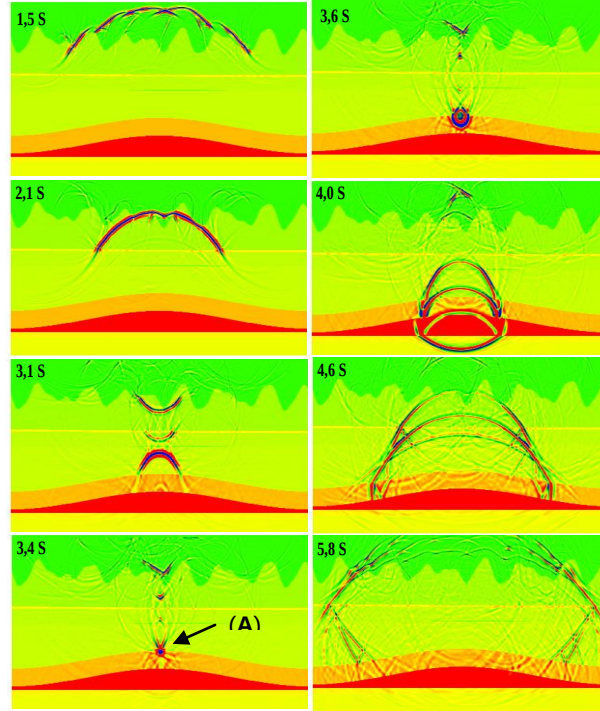


Figura 3: Snapshots da propagação do operador de síntese no modelo de velocidade completo com objetivo de gerar a família CFP na superfície.

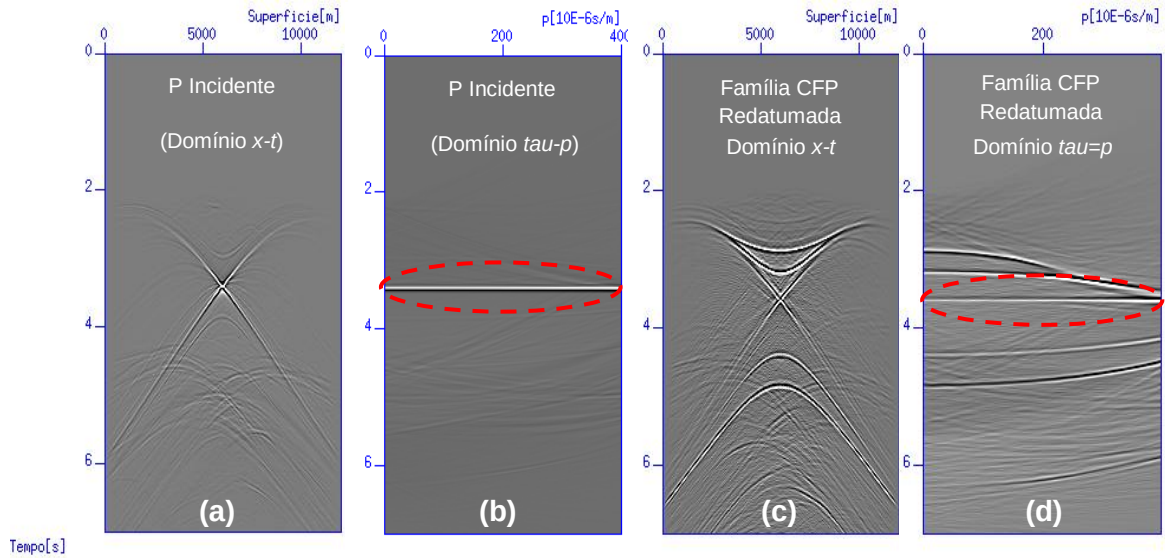


Figura 4: Campo incidente no ponto focal no domínio $x-t$ (a) e $\tau-p$ (b); campo refletido no ponto focal obtido pela redatumação da família CFP no domínio $x-t$ (c) e $\tau-p$ (d). As áreas em destaques correspondem às amplitudes que são usadas para os cálculos dos coeficientes de reflexão.

A Figura 4 (a) e (b) apresenta o campo de ondas incidente sobre o refletor escolhido no domínio do tempo e no domínio Tau-p, respectivamente.

$$R_p(\theta_i) = \frac{vp_2 \cos \theta_i - (vp_1^2 - vp_2^2 \sin^2 \theta_i)^{1/2}}{vp_2 \cos \theta_i + (vp_1^2 - vp_2^2 \sin^2 \theta_i)^{1/2}} \quad (2)$$

Na Figura 5-a pode ser observado que, desde o *zero-offset* até ao ângulo crítico ($\Theta_c = \sin^{-1} [v_{p1}/v_{p2}] = 50^\circ$), os valores encontrados para as variações dos coeficientes de reflexão acústicos (R_p), para ambas as condições de imagem (Equação 1), são muito próximos aos valores analíticos que podem ser obtidos pela Equação 2.

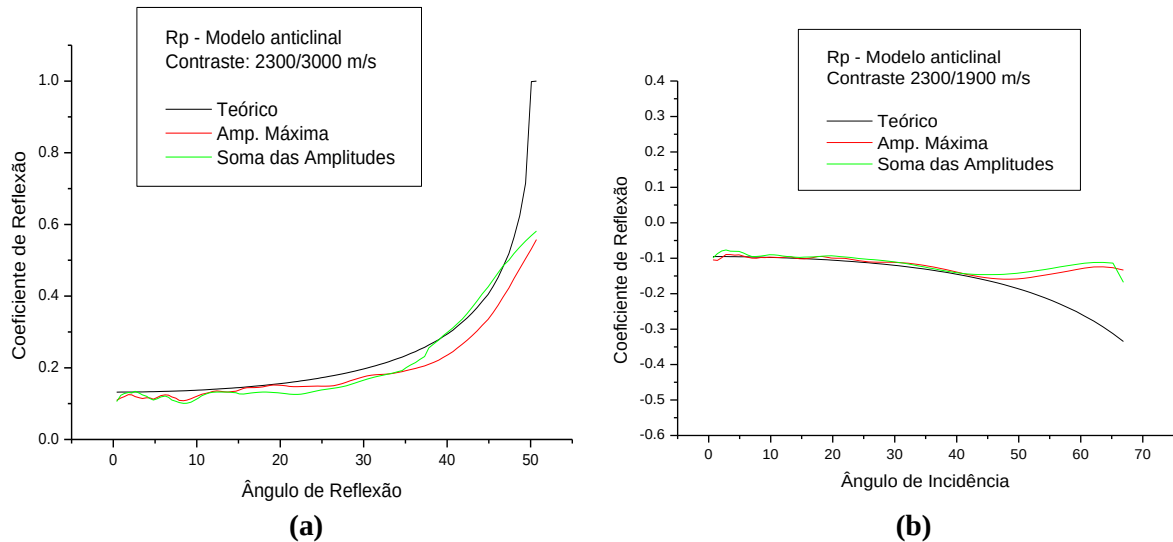


Figura 5: Variação do coeficiente de reflexão em função do ângulo de incidência para o contraste de velocidades 2300/3000 m/s (a), proposto no modelo original, e para o contraste de velocidades 2300/1900 m/s (b) das camadas V_{p1} e V_{p2} .

Para fins de avaliar a aplicação desta metodologia a outros contrastes de impedância, foi simulada uma situação com o contraste negativo, onde V_{p1} se manteve com o valor de 2300 m/s e V_{p2} passou para 1900 m/s. Para esta situação foram seguidos os mesmos passos da aplicação inicial. A Figura 5-b apresenta o resultado obtido neste processo. Pode-se notar que as curvas das variações de amplitudes com o ângulo de incidência encontradas para ambas as condições de imagem apresentaram valores praticamente iguais aos valores teóricos, pelo menos até ao ângulo de 40° .

Conclusões

Neste trabalho foi feita uma extensão da aplicação do conceito de Migração Reversa no Tempo para, além de determinar imagens dos refletores corretamente posicionados em profundidade, obter uma estimativa do coeficiente de reflexão acústico (R_p) de determinada interface em função do ângulo de incidência.

Uma nova aplicação do conceito de família CFP em profundidade foi desenvolvida neste trabalho, que ao contrário das aplicações desenvolvidas por outros pesquisadores, o ponto focal de onde parte o operador é previamente conhecido. Neste caso, o objetivo da aplicação do conceito foi o de obter a função AVA (amplitude versus ângulo) nas proximidades em que este ponto se encontra.

Baseado nos resultados encontrados pode-se dizer que a metodologia proposta para a obtenção da curva de variação do coeficiente de reflexão acústico em função do ângulo de incidência mostrou-se bastante satisfatória, tanto para o contraste de impedância positivo (Figura 5-a), quanto para o contraste negativo (Figura 5-b).

Este trabalho estende a aplicação do conceito da condição de imagem baseada na amplitude máxima e propõe uma nova condição, que é baseada na soma dos módulos das amplitudes. Os resultados mostraram que estas amplitudes podem ser decompostas em contribuições que dependem do ângulo do campo incidente para um determinado ponto em profundidade.

Agradecimentos

Agradeço a toda equipe técnica e administrativa dos Laboratórios LAB2M e LAMCE da COPPE/UFRJ pela oportunidade de divulgar este trabalho.

Referências Bibliográficas

- Berkhout, A.J., 1992. Areal shot-record technology. *Journal of Seismic Exploration* 1, n. 3, 251-264.
- Berkhout, A. J., 1997. Pushing the limits of seismic imaging, Part I: Prestack migration in terms of double dynamic focusing. *Geophysics*, vol. 62, no. 3, p. 937-954.
- Berkhout, A. J., 1997. Pushing the limits of seismic imaging, Part II: Integration of prestack migration, velocity estimation, and AVO analysis. *Geophysics*, vol. 62, no. 3, p. 954-969.
- Boechat, J. B. T., 2007. Migração reversa no tempo 3-D orientada ao alvo por síntese de frentes de onda. Programa de Engenharia Civil, COPPE/UFRJ.
- Botelho, M.A.B., Stoffa, P.L., 1988. Velocity analysis using reverse time migration. AGU annual meeting.
- Castagna, J.P., Backus, M.M., 1993. Offset-dependent reflectivity: theory and practice of AVO analysis. IG series: v. 8. SEG.
- Chattopadhyay, S. e McMechan, G.A., 2008. Imaging conditions for prestack reverse-time migration. *Geophysics*, v.73, no. 3.
- de Bruin, C.G.M., 1992. Linear AVO inversion by prestack depth migration. Imaging angle dependent reflectivity as a toll for litho-stratigraphic inversion. PhD Thesis. University of Technology of Delft, Netherlands.
- Loewenthal, D., Hu, L., 1991. Two methods for computing the imaging condition for common-shot prestack migration. *Geophysics*, v.56, pp. 378-381.
- Santos, L.A., Theodoro, A.E., Soares Filho, D.M., Bulcão, A., 2006. Aplicação da técnica de redatumização de dados sísmicos. X SIMGEF PETROBRAS.
- Silva, J.J., 2009. Migração reversa no tempo na determinação das amplitudes de reflexão em função do ângulo de incidência. Tese de doutorado, Programa de Engenharia Civil da COPPE/UFRJ, RJ – Brasil.
- Thorbecke, J.W., 1997. Common Focus Point Technology. PhD Thesis. Delft University of Technology, Delft, The Netherlands.
- Winthaegen, P.L.A., Verschuur, D.J., 1998. Using the CFP-methodology for PP and PS angle dependent reflectivity analysis. SEG International Exposition and 72nd Annual Meeting.