



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE GEOFÍSICA**

MICHELL DA SILVA CARDOSO

**Imageamento de refletores sísmicos usando o operador de Empilhamento
Superfície de Reflexão Comum (CRS) ZO 2-D de 4ª ordem**

BELÉM

2008



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE GEOFÍSICA

MICHELL DA SILVA CARDOSO

Imageamento de refletores sísmicos usando o operador de Empilhamento
Superfície de Reflexão Comum (CRS) ZO 2-D de 4ª ordem

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Geofísica da Universidade Federal do Pará como requisito parcial à obtenção de grau de Bacharel em Geofísica.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Andrés Chira Oliva

BELÉM

2008



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE GEOFÍSICA

Imageamento de refletores sísmicos usando o operador de Empilhamento
Superfície de Reflexão Comum (CRS) ZO 2-D de 4ª ordem

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Geofísica da
Universidade Federal do Pará – UFPA, em
cumprimento às exigências para obtenção do
grau de Bacharel em Geofísica.

Data da aprovação: **31/03/2008**

Conceito: EXCELENTE

BANCA EXAMINADORA:

UFPA - Prof. Dr. Pedro Andrés Chira Oliva – Orientador

UFPA - Prof. Dr. João Carlos Ribeiro Cruz

UFPA - Prof. Dr. German Garabito Callapino

Diretora da Faculdade de Geofísica

AGRADECIMENTOS

Primeiramente aos meus pais Felipe e Betânia, por todo o empenho e apoio incondicional em minhas decisões.

À minha família Silva, principalmente meus avós Nazaré e Zequinha, minha bisavó que já não se encontra nesse mundo e meus irmãos por me aturarem no dia-a-dia.

À minha família Cardoso por sempre me lembrarem que vale a pena ser justo.

Ao Professor Pedro Chira pela sua orientação e por ser exemplar em suas atitudes, que me serviram de lição para vida.

Ao CNPq pelo financiamento.

Aos professores Pedro Chira e German Garabito pelos programas utilizados neste trabalho.

À minha companheira Juliana por me reservar sempre um grande espaço na sua vida.

Um agradecimento especial às famílias Nascimento e Ferreira Silva, em especial a Tia Teresinha, Tia Socorro e Tio Paulo pela paciência, carinho e apoio.

Aos meus irmãos Elyston, Tiago, Joel, Alex, e Maurony, por terem uma responsabilidade muito grande nessa longa estrada de universidade.

Aos amigos inesquecíveis que fiz durante esses quatro anos que tiveram importância notória em minha caminhada, em especial ao Ângelo, Anderson, Herbet, Ordilei, Jefferson, Mikéias, Hildimir, Elias, Fraiser, Kleber e Desaix.

À Professora Lúcia por sempre tentar manter a decência do curso.

E finalmente agradeço a todos que sempre lutaram por um mundo mais justo.

RESUMO

A simulação de uma seção sísmica de afastamento nulo a partir de dados sísmicos de cobertura múltipla para um meio 2-D, a través do empilhamento, é um método de imageamento sísmico muito utilizado no processamento, que permite reduzir a quantidade de dados e melhorar a relação sinal/ruído.

Aproximações de tempos de trânsito utilizadas no empilhamento sísmico de eventos de reflexão ou difração são importantes para o imageamento e a inversão sísmica. Nos últimos anos surgiram diversas formas destas aproximações que usam mais de um parâmetro no empilhamento e permitem usar configurações sísmicas arbitrárias. Estas representações de tempo de trânsito têm substituído a convencional aproximação de tempo de trânsito Normal-Moveout (NMO) que depende de um único parâmetro, denominado velocidade NMO.

O método de empilhamento sísmico Common-Reflection-Surface (CRS) simula seções sísmicas de afastamento-nulo a partir de dados de cobertura múltipla, independente do macro-modelo de velocidades. Para meios 2-D, a função tempos de trânsito ou operador de empilhamento CRS depende de três parâmetros, o ângulo de emergência do raio normal e as curvaturas das frentes das ondas hipotéticas Normal-Incidence-Point (NIP) e Normal (N).

Neste trabalho a expansão de Taylor do operador CRS de 2ª ordem, chamado também de operador CRS de 4ª ordem foi testada para verificar sua eficiência na simulação de seções afastamento-nulo e foi comparado com o operador CRS de 2ª ordem no empilhamento sísmico. O operador CRS 4ª ordem depende do mesmo número de parâmetros utilizados pelo convencional operador CRS de 2ª ordem. Exemplos sintéticos têm mostrado neste trabalho um bom desempenho deste operador na simulação de seções sísmicas de afastamento-nulo. Em geral, o operador CRS de 4ª ordem apresenta um melhor ajuste dos tempos de trânsito verdadeiros que o operador CRS de 2ª ordem para diversas configurações testadas.

Palavras-chave: Empilhamento CRS de 4ª ordem, empilhamento sísmico, ondas NIP e N.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1	Exemplo de sistema sísmico representado por um modelo 2-D constituído por três camadas sobre um semi-espço. Cada camada está separada por interfaces curvas e suaves.	3
Figura 2.2	Modelo sísmico 2-D. A trajetória de uma reflexão primária é dada pelo raio <i>SRG</i> .	4
Figura 2.3	Configuração CO (common-offset) caracterizada pela distância fonte-receptor constante.	5
Figura 2.4	Configuração ZO (zero-offset) caracterizada pela distância fonte-receptor igual a zero.	6
Figura 2.5	Ilustração da simetria da configuração CMP (Common-midpoint) com o ponto comum em profundidade, mostrando a iluminação pontual em subsuperfície. As fontes estão à esquerda e seus correspondentes receptores à direita, e vice-versa.	7
Figura 2.6	Configuração CMP para um modelo planar horizontal.	7
Figura 2.7	Configuração CMP para um modelo inclinado.	8
Figura 2.8	Configuração CS caracterizada por manter a fonte fixa.	8
Figura 2.9	Configuração CR caracterizada por manter o receptor fixo.	9
Figura 3.1	Propagação das ondas hipotéticas a) onda NIP e b) onda Normal. O raio normal inicia-se em X_0 , propaga-se ao longo das camadas, reflete no ponto R do segundo refletor e emerge na superfície de medição no mesmo ponto X_0 . O ângulo β_0 é o ângulo de emergência deste raio normal com a normal em X_0 . R_{NIP} e R_N são os raios de curvatura das ondas NIP e N.	11
Figura 3.2	Parte inferior (frontal): meio 2-D com duas camadas sob um semi-espço. Parte superior: curvas de tempos de trânsito CO dos dados pré-empilhados e superfície de empilhamento CRS para simular traços sísmicos ZO.	12

Figura 3.3	Zona de Fresnel Projetada é indicada pela linha vermelha centrada no ponto X_0 . Raio central de cor azul e raios paraxiais de cor verde (Chira, 2003).	15
Figura 4.1	Parte inferior (frontal): meio 2-D com duas camadas sob um semi-espaço. Parte superior: curvas de tempos de trânsito CO dos dados pré-empilhados (linhas cor cinza) e as respectivas superfícies CRS de 2ª ordem (superfície cor verde) e 4ª ordem (superfície cor vermelha), respectivamente.	19
Figura 5.1	Modelo 2-D constituído por duas camadas de velocidade constante sobre um semi-espaço infinito.	23
Figura 5.2	Aproximações de tempos de trânsito CMP (verdadeiros, CRS 2ª ordem e CRS 4ª ordem) para eventos de <i>reflexão</i> nos pontos centrais a) $x_0 = 0.7 \text{ km}$, b) $x_0 = 1.0 \text{ km}$ e c) $x_0 = 2.25 \text{ km}$.	24
Figura 5.3	Aproximações de tempos de trânsito CMP (verdadeiros, CRS 2ª ordem e CRS 4ª ordem) para eventos de <i>difração</i> nos pontos centrais a) $x_0 = 0.7 \text{ km}$, b) $x_0 = 1.0 \text{ km}$ e c) $x_0 = 2.25 \text{ km}$.	25
Figura 5.4	Aproximações de tempos de trânsito CO (verdadeiros, CRS 2ª ordem e CRS 4ª ordem) para eventos de <i>reflexão</i> nos pontos centrais a) $x_0 = 0.7 \text{ km}$, b) $x_0 = 1.0 \text{ km}$ e c) $x_0 = 2.25 \text{ km}$.	26
Figura 5.5	Aproximações de tempos de trânsito CO (verdadeiros, CRS 2ª ordem e CRS 4ª ordem) para eventos de <i>difração</i> nos pontos centrais a) $x_0 = 0.7 \text{ km}$, b) $x_0 = 1.0 \text{ km}$ e c) $x_0 = 2.25 \text{ km}$.	27
Figura 5.6	Parte inferior: modelo constituído por uma camada de velocidade constante de 2.5 km/s e um semi-espaço infinito com uma velocidade de 3.5 km/s respectivamente e seus correspondentes raios de afastamento nulo (ZO). Parte superior: seus respectivos tempos de trânsito para $h = 0.0 \text{ m}$.	30
Figura 5.7	Seções correspondentes ao modelo suavemente curvado da Figura 5.6. a) Seção sísmica sintética ZO. Foi utilizada a função Gabor com	

- freqüência dominante de 50 Hz como pulso da fonte e os traços possuem intervalo de amostragem dominante de 25ms. b)Seção empilhada CRS de 2ª ordem. c)Seção empilhada CRS de 4ª ordem. 31
- Figura 5.8 Comparação dos traços sísmicos empilhados (modelo da Figura 5.6) correspondentes à posição do raio normal (central) em $x_0=1.2$ km, da seção de afastamento nulo (SZO), seção empilhada CRS de 2ª e 4ª ordem, respectivamente. 32
- Figura 5.9 Comparação dos traços sísmicos empilhados, normalizados pelo número de traços (modelo da Figura 5.6) correspondentes à posição do raio normal (central) em $x_0=1.2$ km, da seção de afastamento nulo (SZO), seção empilhada CRS de 2ª e 4ª ordem, respectivamente. 33
- Figura 5.10 Parte inferior: modelo tipo domo constituído por uma camada de velocidade constante de 2.5 km/s e um semi-espaço infinito com uma velocidade de 3.0 km/s respectivamente e seus correspondentes raios de afastamento nulo (ZO) apresentando caústica. Parte superior: os correspondentes tempos de trânsito para $h = 0.0$ m são mostrados. 35
- Figura 5.11 Seções correspondentes ao modelo tipo domo da Figura 5.10. a)Seção sísmica sintética ZO. Foi utilizada a função Gabor com freqüência dominante de 50 Hz como pulso da fonte e os traços possuem intervalo de amostragem dominante de 25ms. b)Seção empilhada CRS de 2ª ordem. c)Seção empilhada CRS de 4ª ordem. 36
- Figura 5.12 Comparação dos traços sísmicos empilhados (modelo da Figura 5.10) correspondentes à posição do raio normal (central) em $x_0=1.3$ km, da seção de afastamento nulo (SZO), seção empilhada CRS de 2ª e 4ª ordem, respectivamente. 37
- Figura 5.13 Comparação dos traços sísmicos empilhados, normalizados pelo número de traços (modelo da Figura 5.10) correspondentes à posição do raio normal (central) em $x_0=1.3$ km, da seção de afastamento nulo (SZO), seção empilhada CRS de 2ª e 4ª ordem. 38
- Figura 5.14 Modelo com várias camadas: duas interfaces entre três camadas homogêneas. Os raios ZO dos refletores curvados (Figura inferior) e

- seus respectivos tempos de trânsito (Figura superior) e seus respectivos tempos de trânsito para $h = 0.0$ m são mostrados. 40
- Figura 5.15 Seções correspondentes ao modelo da Figura 5.14. a) Seção sísmica sintética ZO. Foi utilizada a função Gabor com frequência dominante de 50 Hz como pulso da fonte e os traços possuem intervalo de amostragem dominante de 25ms. b) Seção empilhada CRS de 2ª ordem. c) Seção empilhada CRS de 4ª ordem. 41
- Figura 5.16 Comparação dos traços sísmicos empilhados (modelo da Figura 5.14) correspondentes à posição do raio normal (central) em $x_0=1.15$ km, da seção de afastamento nulo (SZO), seção empilhada CRS de 2ª e 4ª ordem, respectivamente. 42
- Figura 5.17 Comparação dos traços sísmicos empilhados, normalizados pelo número de traços (modelo da Figura 5.14) correspondentes à posição do raio normal (central) em $x_0=1.15$ km, da seção de afastamento nulo (SZO), seção empilhada CRS de 2ª e 4ª ordem. 43
- Figura 5.18 a) Seção ZO com ruído distribuído uniformemente para o modelo da Figura 5.6, sendo a relação sinal/ruído de $s/r=2$. b) Seção empilhada CRS de 2ª ordem a partir dos dados de cobertura múltipla com a relação $s/r=2$. c) Seção empilhada CRS de 4ª ordem a partir dos dados de cobertura múltipla com a relação $s/r=2$. 45
- Figura 5.19 Comparação dos traços sísmicos empilhados (modelo da Figura 5.6) correspondentes à posição do raio normal (central) em $x_0=1.2$ km, da seção ZO, seção empilhada CRS de 2ª e 4ª ordem, respectivamente. 46
- Figura 5.20 Comparação dos traços sísmicos empilhados, normalizados pelo número de traços (modelo da Figura 5.6) correspondentes à posição do raio normal (central) em $x_0=1.2$ km, da seção de afastamento nulo (SZO), seção empilhada CRS de 2ª e 4ª ordem. 47
- Figura 5.21 a) Seção ZO com ruído distribuído uniformemente para o modelo da Figura 4.1, sendo a relação sinal/ruído de $s/r=0.5$. b) Seção empilhada CRS de 2ª ordem a partir dos dados de cobertura múltipla com a

relação $s/r=0.5$. c) Seção empilhada CRS de 4ª ordem a partir dos dados de cobertura múltipla com a relação $s/r=0.5$.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	FUNDAMENTOS TEÓRICOS	3
2.1	SISTEMA SÍSMICO.....	3
2.2	MODELO SÍSMICO 2-D	3
2.3	CONFIGURAÇÕES DO LEVANTAMENTO SÍSMICO.....	4
3	MÉTODO DE EMPILHAMENTO SÍSMICO SUPERFÍCIE DE REFLEXÃO COMUM (CRS) AFASTAMENTO NULO (ZO) 2-D PARA UMA SUPERFÍCIE DE MEDIÇÃO PLANA	10
3.1	GEOMETRIA E AS LEIS DE CURVATURA DAS FRENTE DE ONDA.....	10
3.2	EMPILHAMENTO SÍSMICO CRS.....	11
3.3	DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DO EMPILHAMENTO CRS.....	12
3.4	APLICAÇÃO DOS PARÂMETROS DO MÉTODO CRS.....	14
3.4.1	Modelo de Velocidade	14
3.4.2	Zona de Fresnel projetada	14
3.4.3	Fator Espalhamento Geométrico	15
4	EXPANSÃO DE SÉRIES DE TAYLOR DA SUPERFÍCIE DE REFLEXÃO COMUM (CRS) 2-D	17
4.1	EXPANSÕES DE TEMPO DE TRÂNSITO.....	17
4.1.1	Eventos de reflexão	17
4.1.1.1	Expansão de Taylor para t^2	17
4.1.1.2	Configurações Sísmicas.....	20
4.1.1.2.1	Configuração CMP.....	20
4.1.1.2.2	Configuração ZO.....	20
4.1.2	Eventos de difração	20

5	APLICAÇÕES DO OPERADOR DE EMPILHAMENTOS CRS 2-D DE 4º	
	ORDEM EM DADOS SINTÉTICOS.....	22
5.1	GERAÇÃO DE DADOS SINTÉTICOS.....	22
5.2	ETAPAS DE EMPILHAMENTO CRS.....	22
5.3	TESTE COM DADOS SINTÉTICOS.....	22
5.3.1	Comparação entre os operadores de empilhamento CRS	22
5.3.2	Empilhamento CRS 2-D com os operadores de 2ª e 4ª ordem.....	29
5.3.2.1	Modelo suavemente curvado.....	29
5.3.2.2	Modelo tipo domo.....	34
5.3.2.3	Modelo com várias camadas.....	39
5.3.3	Empilhamento CRS em dados com ruído.....	44
6	CONCLUSÕES	49
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.
This page will not be added after purchasing Win2PDF.

1 INTRODUÇÃO

Uma significativa parte do processamento sísmico é realizada através do empilhamento de dados sísmicos de cobertura múltipla. O empilhamento sísmico é realizado ao longo de curvas ou superfícies de tempos de trânsito que dependem de um ou mais parâmetros. Os parâmetros (ou atributos) de uma determinada aproximação de tempo de trânsito são obtidos através da aplicação de uma análise de coerência realizada sobre os dados de cobertura múltipla. Como resultado do processo de empilhamento, obtém-se a seção empilhada e as seções dos atributos ou parâmetros de tempos de trânsito que podem ser usados para outros processos sísmicos (e.g. estimativa dos atributos em verdadeiras amplitudes, inversão do modelo de velocidades).

O método de empilhamento convencional ou empilhamento Common-Midpoint (CMP) organiza os dados em famílias CMP. Para cada CMP, a correspondente família CMP consiste de pares fonte-receptor simetricamente localizados em relação ao CMP. Para empilhar os dados ao longo da família CMP, é usado o tempo de trânsito Normal-Moveout (NMO), que está constituído por um único parâmetro, ou seja, pela velocidade NMO ou de empilhamento.

Nos últimos anos, têm surgido diversos métodos de empilhamento sísmico para generalizar o método CMP. Estes métodos são referidos na literatura geofísica como métodos independentes do macro-modelo de velocidades (Hubral, 1999). Entre estes métodos destacam o Polystack, marca registrada pela companhia Elf Aquitaine (de Bazelaire, 1988; Thore et al., 1994), o empilhamento Common-Reflection-Surface (CRS) (Müller, 1999; Jäger et al, 2001, Garabito (2001), o empilhamento Multifoco (Gelchinsky et al, 1997; Berkovitch et al, 1998; Landa et al., 1999, Chira, 2000) entre outros métodos.

Com a finalidade de considerar as posições arbitrárias dos pares fonte-receptor é necessário considerar aproximações de tempos de trânsito que dependam de mais de um parâmetro. Para o caso 2-D, onde os dados de cobertura múltipla são registrados ao longo de uma linha sísmica, é mostrado segundo a Teoria do Raio de Ordem Zero, que o tempo de trânsito para uma localização arbitrária de um par fonte-receptor ao longo de um ponto central fixo, depende de três parâmetros. Uma extensão simples dos tempos de trânsito NMO é a

aproximação de tempos de trânsito hiperbólico, a qual pode ser derivada como uma expansão de Taylor de segunda ordem do tempo de trânsito de um raio de reflexão primária arbitrário na vizinhança de um raio fixo, i.e. um raio de reflexão primário Zero-Offset (ZO), sendo o raio de referência.

O método CRS usa como operador de empilhamento a aproximação de tempos de trânsito hiperbólica derivada por Tygel et al (1997). Este operador depende de três parâmetros como são o ângulo de emergência do raio normal e os raios de curvatura das frentes de ondas hipotéticas Normal-Incidence-Point (NIP) e Normal (N). Os conceitos sobre estas frentes de ondas hipotéticas foram introduzidas por Hubral (1983). Para o caso clássico da configuração CMP, os três parâmetros se reduzem a um único parâmetro, chamado de velocidade NMO.

Com a finalidade de usar uma aproximação de tempos de trânsito mais exata, Höcht et al (1999) tem considerado uma interface de reflexão como uma junção contínua de elementos de reflexão circular que abrangem o refletor original. A resposta de reflexão do refletor é formulada como a superposição das respostas de reflexão de todos os elementos de reflexão circular que constituem o refletor. Eles derivaram uma expressão de tempos de trânsito, dada através de um par de equações paramétricas. Uma característica atrativa desta representação é que é descrita em função dos três parâmetros CRS que estão referidos ao raio de reflexão primária ZO (zero-offset) fixo. A partir de um sistema de equações paramétricas, uma aproximação de Taylor de 4ª ordem é obtida.

Neste trabalho é revisada a aproximação de tempos de trânsito ou operador de empilhamento CRS de 4ª ordem e comparada com os tempos verdadeiros e o operador de empilhamento CRS de 2ª ordem. Finalmente é testado este operador de CRS de 4ª ordem para diversos modelos sintéticos com a finalidade de testar sua eficiência na simulação de seções de afastamento nulo (ZO).

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.
This page will not be added after purchasing Win2PDF.

2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 SISTEMA SÍSMICO

Um sistema sísmico 2-D e 3-D são definidos como o conjunto de camadas isotrópicas, homogêneas ou não homogêneas, de número arbitrário, separadas por interfaces suaves e curvadas (Bortfeld, 1989). Para a definição de um sistema sísmico deve ser considerado um sistema de coordenadas cartesianas bidimensionais (x,z) e assumir que a linha sísmica está na direção do eixo x e a profundidade na direção do eixo z , sendo positivo para abaixo (Figura 2.1).

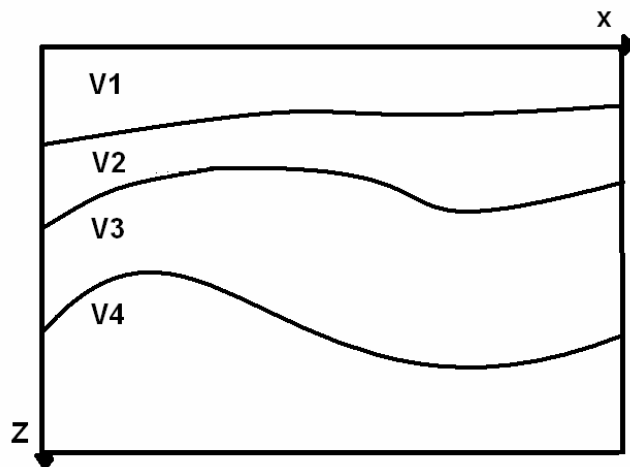


Figura 2.1 – Exemplo de sistema sísmico representado por um modelo 2-D constituído por três camadas sobre um semi-espaço. Cada camada está separada por interfaces curvas e suaves.

2.2 MODELO SÍSMICO 2-D

O modelo sísmico é a maneira de expressar o levantamento para construir uma representação física ou matemática do evento estudado (estrutura, sistema, etc). Para o entendimento deste tópico é usado o sistema de Coordenada Cartesiano. O Vetor posição $\vec{X} = (x, z)$ é usado para definir a direção da linha sísmica (x) na superfície terrestre, que é considerada plana. A profundidade é dada por (z). Cada camada possui um campo de velocidade $v = v(x, z)$. Os pares fonte-receptor são dados respectivamente por (S, G) :

$$x_S = x_S(\xi), x_G = x_G(\xi), \quad 2.1$$

Onde ξ é um parâmetro que identifica a posição de um par fonte-receptor na superfície.

A trajetória do raio é descrita por um raio que começa na fonte em S , atinge o refletor Σ_R no ponto de reflexão R e retorna a superfície da terra em G , o raio descreve SRG de acordo com a Figura 2.2.

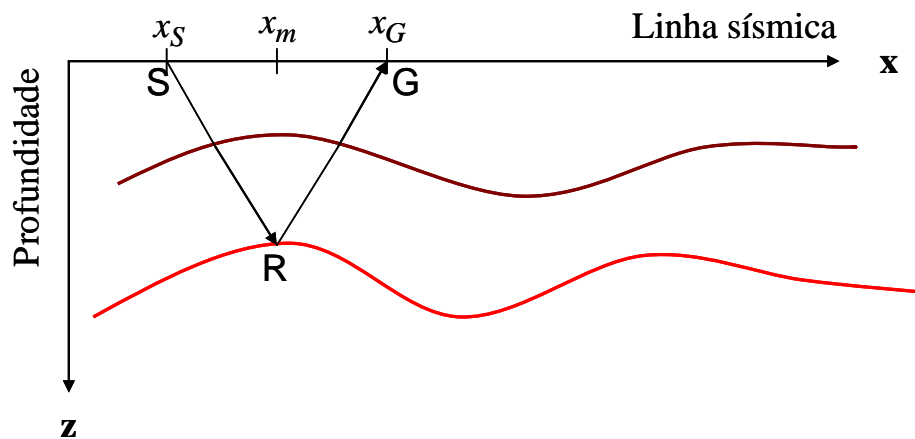


Figura 2.2 – Modelo sísmico 2-D. A trajetória de uma reflexão primária é dada pelo raio SRG .

2.3 CONFIGURAÇÕES DO LEVANTAMENTO SÍSMICO

O levantamento sísmico 2-D tem como base as fontes que ficam na superfície de medição ao longo de uma linha sísmica gerando ondas que se propagam em profundidade até chegarem a uma interface, neste momento as ondas são refletidas e retornam a superfície. Ao retornarem a superfície, as ondas são captadas por vários receptores que estão dispostos também na mesma linha sísmica. Os receptores terrestres são os chamados geofones e marítimos são os hidrofones.

Os registros nos receptores constituem os traços sísmicos, cuja coleção é denominada de sismograma. A coleção de vários sismogramas constitui os dados sísmicos.

Os registros fornecem um conjunto de dados de cobertura múltipla, que podem ser visualizados dentro do volume (x_m, h, t) , onde x_m é a coordenada ponto médio, h é o meio afastamento e t o tempo de trânsito. As coordenadas x_m e h são dadas por

$$x_m = \frac{x_S + x_G}{2}, \quad h = \frac{x_G - x_S}{2} \quad 2.2$$

Segundo a equação abaixo, a posição de um par fonte-receptor é especificada por um único parâmetro, nesse caso (ξ). Para qualquer configuração de medida especificada (Schleicher et al, 1993), em duas dimensões (2-D), tem-se:

$$x_S = x_{(S_0)} + \Gamma_S (\xi - \xi_0), x_G = x_{(G_0)} + \Gamma_G (\xi - \xi_0) \quad 2.3$$

sendo $x_{(S_0)}$ e $x_{(G_0)}$ as coordenadas de um par fonte-receptor fixo definido por $(\xi - \xi_0)$. Γ_S e Γ_G são constantes que dependem somente da configuração de medida.

As principais configurações são:

-Common-Offset (CO) ou afastamento comum: configuração dada para levantamentos em que os traços apresentam a mesma distância fonte-receptor (Figura 2.3). Ela é descrita pela equação 2.3, se $\Gamma_S = 1$ e $\Gamma_G = 1$. Se $x_{(S_0)} = x_{(G_0)}$, tem-se a configuração Zero-Offset (ZO) ou *afastamento nulo* (Figura 2.4).

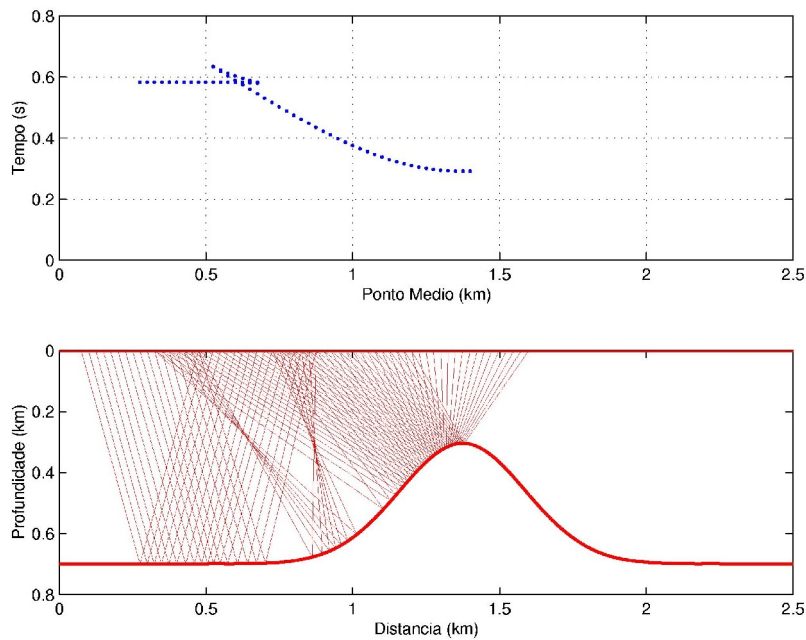


Figura 2.3 – Configuração CO (common-offset) caracterizada pela distância fonte-receptor constante.

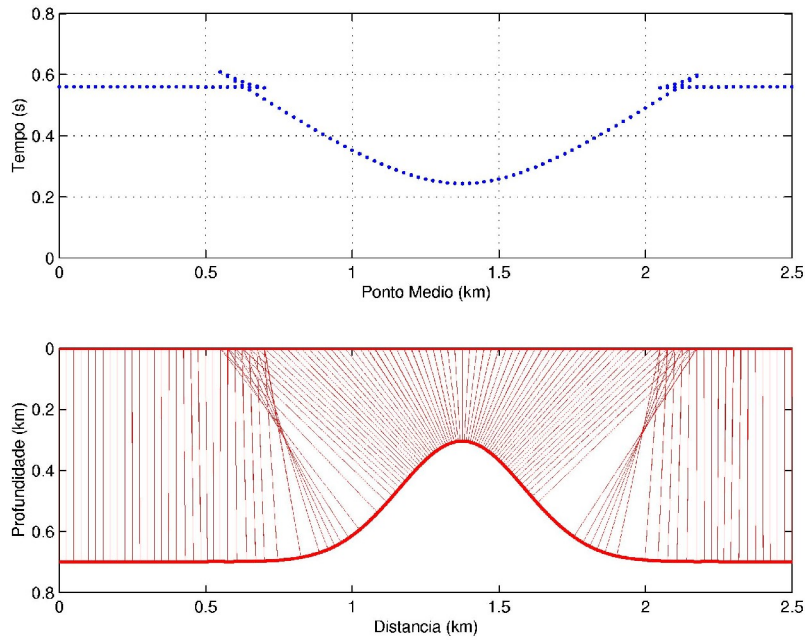


Figura 2.4 – Configuração ZO (zero-offset) onde a distância fonte-receptor é zero.

2. Common-midpoint (CMP) ou Ponto-médio-comum: configuração dada para os levantamentos onde o ponto entre a fonte e o receptor é fixa. Este nome foi uma adaptação do modelo **Common-Depth-Point (CDP, ou Ponto Comum em Profundidade)**. Essa adaptação ocorreu devido a algumas condições que restringiam o nome CMP, quando, por exemplo, ocorriam variações laterais das velocidades do meio. A configuração CMP é descrito pela equação 2.3 se $\Gamma_S = 1$ e $\Gamma_G = -1$ (Figuras 2.5 até 2.7).

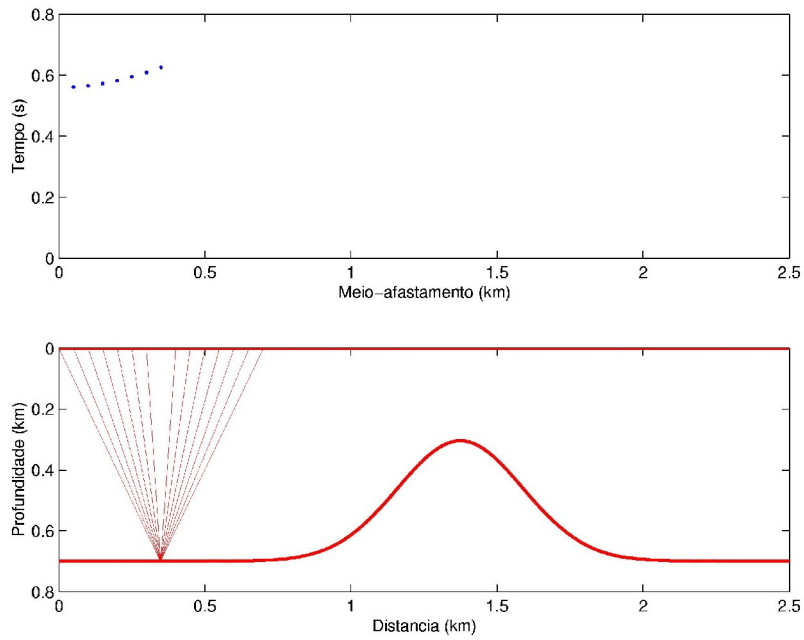


Figura 2.5 – Ilustração da simetria da configuração CMP (Common-midpoint) com o ponto comum em profundidade, mostrando a iluminação pontual em subsuperfície. As fontes estão á esquerda e seus correspondentes receptores à direita, e vice-versa.

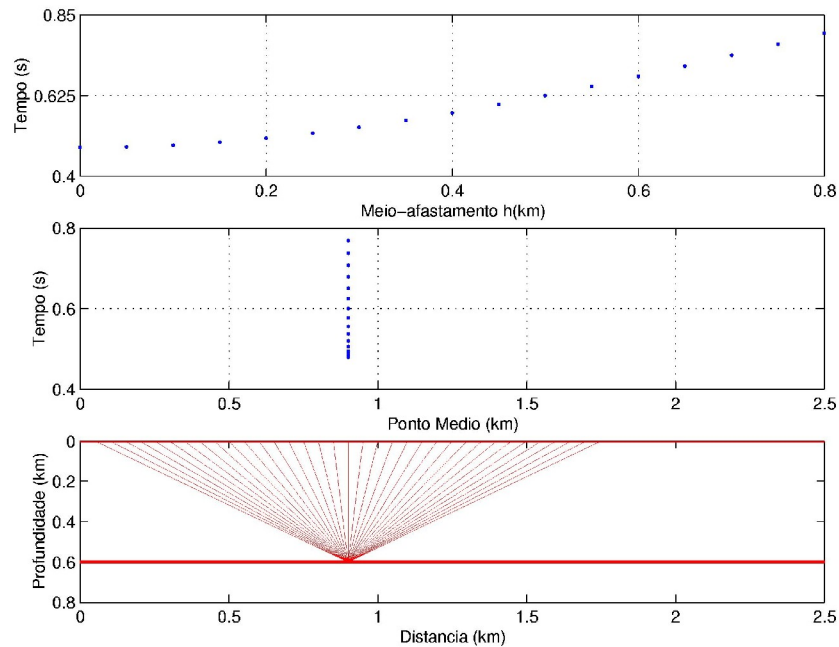


Figura 2.6. Configuração CMP para um modelo planar horizontal.

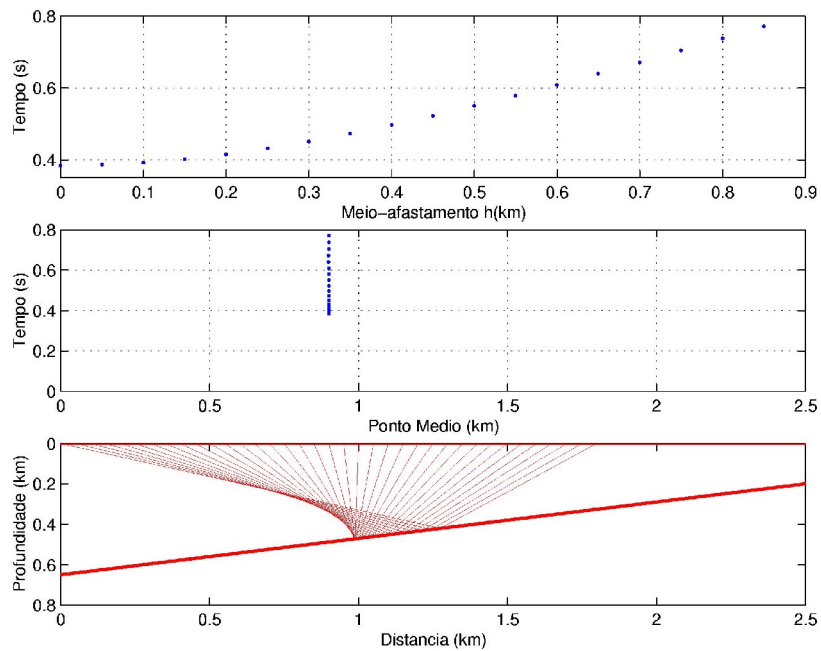


Figura 2.7. Configuração CMP para um modelo inclinado.

3. Common-shot ou fonte-comum (CS): configuração dada com fonte fixa e registradas por vários receptores distribuídos na linha sísmica. Ela é descrita pela equação 2.3 quando $\Gamma_S = 0$ e $\Gamma_G = 1$ (Figura 2.8).

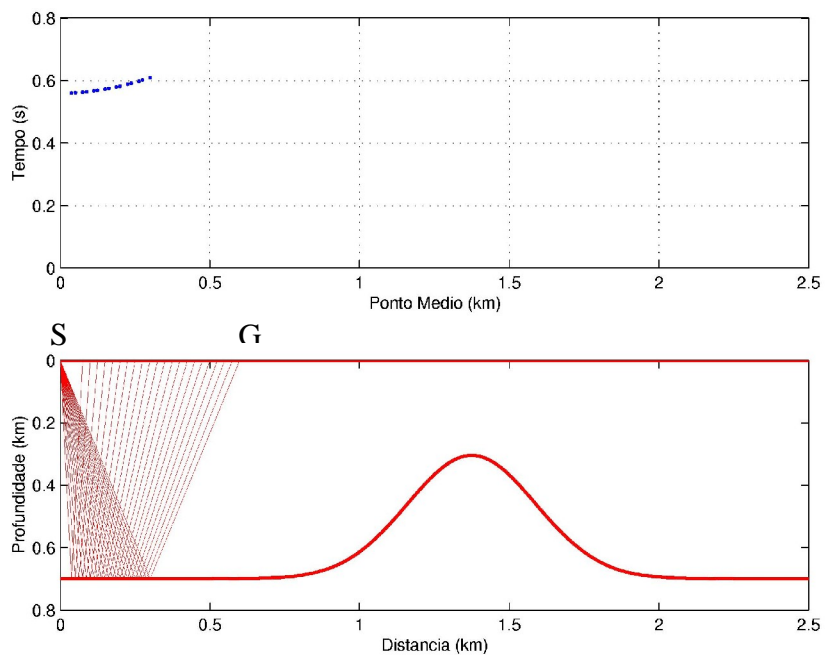


Figura 2.8 – Configuração CS onde a fonte é mantida fixa.

4. Common-receiver (CR) ou receptor-comum: nesta configuração é mantido o receptor fixo e a fonte é deslocada ao longo da linha sísmica. Essa configuração é descrita pela equação 2.3 quando $\Gamma_S = 1$ e $\Gamma_G = 0$ (Figura 2.9).

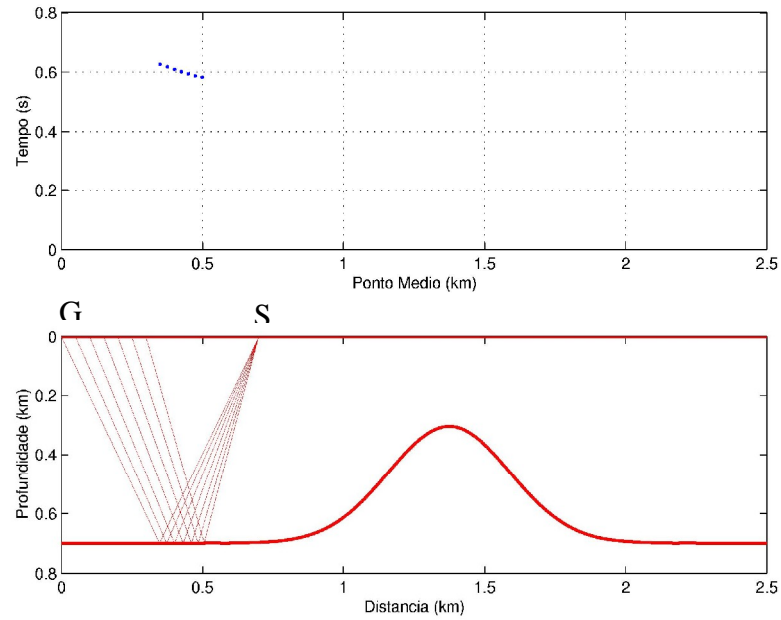


Figura 2.9 - Configuração CR onde o receptor é mantido fixo.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.
This page will not be added after purchasing Win2PDF.

3 MÉTODO DE EMPILHAMENTO SÍSMICO SUPERFÍCIE DE REFLEXÃO COMUM (CRS) AFASTAMENTO NULO (ZO) 2-D PARA UMA SUPERFÍCIE DE MEDIÇÃO PLANA

3.1 GEOMETRIA E AS LEIS DE CURVATURA DAS FRENTES DE ONDA

O estudo do método de empilhamento CRS tem como base a construção de uma superfície de empilhamento, a qual é baseada nos conceitos dos atributos cinemáticos das duas frentes de onda hipotéticas definidas por Hubral (1983): onda NIP (Normal-Incidence-Point) e onda N (Normal) (Figura 3.1). A onda NIP é uma onda que se propaga de forma ascendente a partir de uma fonte pontual localizada num ponto de incidência normal sobre o refletor (R) até um ponto de observação na linha sísmica. As frentes de ondas de cor azul representam a propagação da onda NIP em diferentes instantes de tempo até atingir o ponto de emergência X_0 (Figura 3.1.a). A onda N é também uma onda hipotética que se propaga a partir de fontes pontuais distribuídas ao longo do refletor, com uma frente de onda inicial cuja curvatura é a mesma do refletor considerado. As frentes de onda também de cor azul representam a propagação da onda N em diferentes instantes de tempo e também associados ao raio normal (Figura 3.1b). As curvaturas das ondas NIP e N, $K_{NIP} = 1/R_{NIP}$ e $K_N = 1/R_N$, são aproximações circulares das suas frentes de onda. R_{NIP} e R_N representam os raios de curvatura das frentes de onda NIP e N, respectivamente.

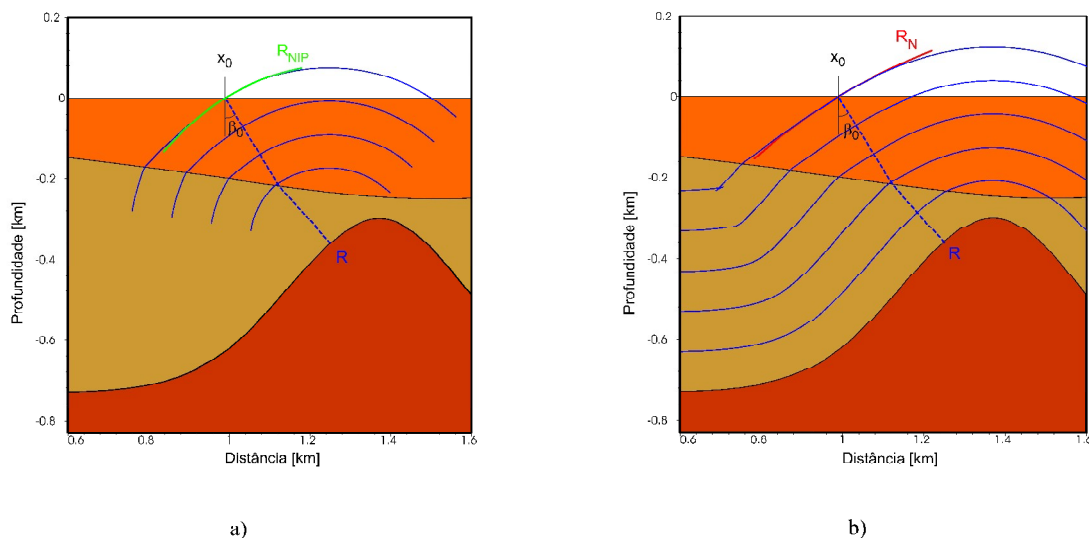


Figura 3.1 - Propagação das ondas hipotéticas a) onda NIP e b) onda Normal. O raio normal inicia-se em X_0 , propaga-se ao longo das camadas, reflete no ponto R do segundo refletor e emerge na superfície de medição no mesmo ponto X_0 . O ângulo β_0 é o ângulo de emergência deste raio normal com a normal em X_0 . R_{NIP} e R_N são os raios de curvatura das ondas NIP e N.

3.2 EMPILHAMENTO SÍSMICO CRS

O método do empilhamento sísmico CRS tem por finalidade a construção da superfície empilhada, que por sua vez é feita através do conhecimento dos três atributos cinemáticos (β_0, K_{NIP}, K_N). Uma vez conhecidos estes atributos podemos usá-los para a construção da superfície empilhada, usando para isso a fórmula de aproximação hiperbólica do tempo de trânsito.

O empilhamento CRS soma as amplitudes dos traços sísmicos ao longo de uma superfície construída pela aproximação paraxial de segunda ordem do tempo de trânsito de reflexão na forma hiperbólica (Schleicher et al., 1993). Ao fazer esse processo, atribui-se o resultado ao ponto da seção ZO a ser simulada: $P_0 = (x_0, t_0)$ (Figura 3.2). Em meios 2-D, esta fórmula depende de três parâmetros: β_0, K_{NIP}, K_N (Hubral, 1983). A aproximação está em função

das coordenadas (x_m, h) , ponto-médio e meio-afastamento, respectivamente, é expressa por (Tygel et al., 1997)

$$t_2^2(x_m, h) = \left[t_0 + \frac{2 \operatorname{sen} \beta_0}{v_0} (x_m - x_0) \right]^2 + \frac{2 t_0 \cos^2 \beta_0}{v_0} \left[K_N (x_m - x_0)^2 + K_{NIP} h^2 \right] \quad 3.1$$

onde t_0 é o tempo de trânsito duplo ao longo de uma trajetória de um raio normal, x_0 é a coordenada do ponto P_0 no eixo x e v_0 é considerada constante. Esta aproximação também é conhecida como o operador CRS de 2ª ordem.

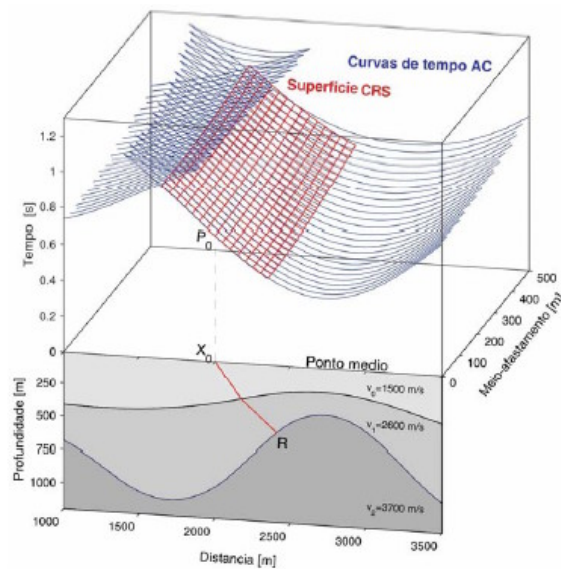


Figura 3.2. Parte inferior (frontal): meio 2-D com duas camadas sob um semi-espaço. Parte superior: curvas de tempos de trânsito CO dos dados pré-empilhados e superfície de empilhamento CRS para simular traços sísmicos ZO (Garabito, 2001).

3.3 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DO EMPILHAMENTO SÍSMICO CRS

Sabe-se que para usar o método CRS para simulação de uma seção ZO precisa se conhecer os três atributos cinemáticos (β_0, K_{NIP}, K_N) , que é também conhecido como trio de parâmetros do operador empilhamento CRS, a partir de dados sísmicos. Para a determinação do trio de parâmetros são usadas diferentes estratégias, que foram desenvolvidas em lugares

distintos. Tais estratégias baseiam-se na análise de coerência e processo de otimização dos pontos de amostragem da seção ZO simulada, que envolvem processo de busca de um, dois ou três parâmetros.

A primeira estratégia foi desenvolvida pelo grupo de pesquisa do Instituto de Geofísica da Universidade de Karlsruhe (Alemanha) (Höcht, 1998; Jäger, 1999; Müller, 1999; Jäger et al., 2001). A estratégia partiu da estimativa dos três parâmetros iniciais através de processo de busca unidimensional, realizado por meio de aplicação de análise de coerência ao longo das curvas de empilhamento CMP e ZO. Como os valores dos parâmetros iniciais estimados, aplica-se um algoritmo que utiliza como aproximação inicial os valores determinados pela busca unidimensional e encontram-se os valores dos parâmetros finais. O algoritmo utilizado é um algoritmo de otimização chamado SIMPLEX.

A segunda estratégia de otimização também usa a estimativa dos três parâmetros iniciais. Ela foi aplicada por Birgin et al. (1999) no Instituto de Matemática, Estatística e Ciência da Computação da Universidade de Campinas (Brasil). A diferença entre essa estratégia para com a outra é o tipo de otimização a ser usada. Como visto, na primeira usa-se a otimização do algoritmo SIMPLEX, e nessa estratégia usa-se o algoritmo de otimização local Gradiente Projetado Espectral para estimar os valores finais dos parâmetros.

A terceira estratégia foi apresentada por Garabito (2001), do Laboratório de Processamento Sísmico (PROSIS), Universidade Federal do Pará (Brasil). Esta estratégia combina o processo de busca, tanto local quanto global, para a determinação do trio de parâmetros do método empilhamento SRC. A mesma depende de três etapas:

1ª etapa: nesta etapa é feita a busca de dois parâmetros (β_0, K_{NIP}) fazendo K_N aproximadamente igual a K_{NIP} .

2ª etapa: nesta etapa, busca-se o parâmetro K_N , na seção ZO proveniente da primeira etapa. O algoritmo usado nesta etapa é o *Simulating Annealing* (SA).

3ª etapa: por fim, é refinada a determinação dos parâmetros ótimos que melhor definem a função de tempo de trânsito de empilhamento CRS. O algoritmo aplicado nesta etapa é o algoritmo de busca local, o *Variable Metric* (VM).

3.4 APLICAÇÃO DOS PARÂMETROS DO MÉTODO CRS

3.4.1 Modelo de velocidade

Uma maneira de determinar o modelo de velocidade 2-D para dados sintéticos foi proposta por Majer (2000). O autor determina o modelo através de inversão dos tempos de trânsito e dos parâmetros CRS. A inversão é feita a partir de dados sísmicos de reflexão primária.

Para a inversão, foi aplicada alguns métodos de inversão por retropropagação. Tais métodos são:

- Inversão convencional tipo Dix.
- Inversão com interfaces planas inclinadas.
- Inversão com interfaces curvas.
- Inversão com horizontes de eventos sísmicos no domínio do tempo.

3.4.2 Zona de Fresnel Projetada

A zona de Fresnel projetada é a zona que se projeta sobre a superfície terrestre a partir da zona de Fresnel em profundidade (Hubral et al., 1993). A zona de Fresnel projetada tem uma abertura mínima na superfície de medição. Esta abertura é dada ao longo do raio de reflexão normal.

De acordo com Vieth (2001), a metade do tamanho desta projeção é dada por:

$$r_p = \frac{1}{\cos \beta_0} \sqrt{\frac{v_1 T}{2|K_{NIP} - K_N|}}, \quad 3.2$$

sendo T o período de uma onda monofrequente.

Vieth (2001) usou a zona de Fresnel projetada (Figura 3.3) para definir uma abertura local mínima para o empilhamento CRS 2-D em dados reais. Este foi denominado como empilhamento CRS Fresnel. Esta abertura tem mostrado duas melhorias: 1) a resolução é superior

ao empilhamento CRS inicial e otimizado e 2) os eventos são mais contínuos que o empilhamento CRS mencionados anteriormente. Outra importância é o fato de que o empilhamento CRS dentro da zona de Fresnel projetada produz uma melhor razão sinal/ruído. No entanto, o empilhamento CRS com zona de Fresnel projetada não apresenta bom desempenho em áreas com muito ruído.

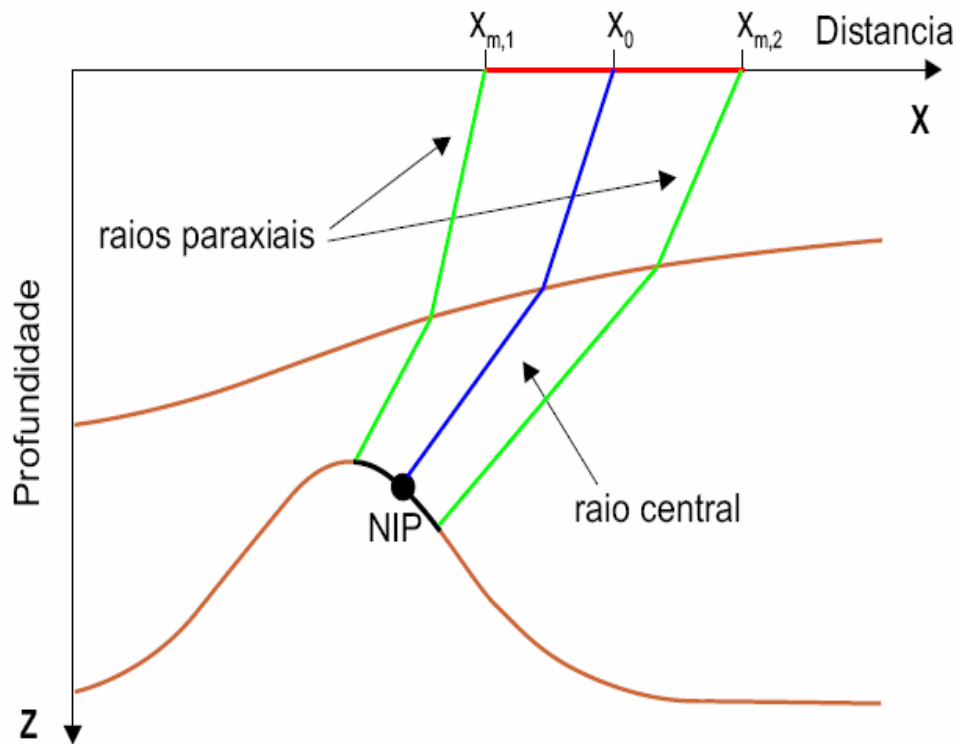


Figura 3.3 – Zona de Fresnel Projetada é indicada pela linha vermelha centrada no ponto X_0 . Raio central de cor azul e raios paraxiais de cor verde (Chira, 2003).

3.4.3 Fator Espalhamento Geométrico

O fator espalhamento geométrico é formulado como o fator L que aparece no denominador da expressão da amplitude (Cerveny, 2001). Este fator é dado por

$$U_0 = \frac{R_c A}{L}, \quad 3.3$$

sendo U_0 representa o campo de ondas refletido, R_c é o coeficiente de reflexão no ponto R (Bleinstein et al., 1987) e a amplitude A representa a perda total de energia devido a transmissão

através de todas as interfaces ao longo da trajetória do raio. A multiplicação desse fator pela amplitude de cada reflexão primária ZO para um determinado modelo é chamado de “traço com amplitude verdadeira” (Hubral, 1983). Para a obtenção de uma melhor aproximação para um traço de amplitude verdadeira é assumido que o ruído e as múltiplas tenham sido suprimidos.

Vieth (2001) aplicou uma função ganho arbitrária à seção ZO para dados reais (simulada com o empilhamento CRS Fresnel).

A importância do novo resultado do empilhamento CRS Fresnel com espalhamento geométrico, foi o de conseguir realçar os eventos sísmicos em pequenos e grandes tempos de trânsito, melhorando assim a resolução da imagem sísmica.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.
This page will not be added after purchasing Win2PDF.

4 EXPANSÃO DE SÉRIES DE TAYLOR DA SUPERFÍCIE DE REFLEXÃO COMUM (CRS) 2-D

A derivação da aproximação de tempo de trânsito CRS ZO de 4ª ordem proposta por Höcht et al. (1999) está baseada na construção da fórmula de tempo de trânsito exato para o caso de um refletor circular abaixo de uma cobertura homogênea. Como serão observadas abaixo, todas as quantidades que aparecem nesta expressão podem ser substituídas pela combinação dos parâmetros CRS. Sobre esta substituição, a expressão de tempo de trânsito obtida é esperada ser uma aproximação válida em qualquer meio, onde os parâmetros CRS são bem definidos. Para uso prático em uma implementação do empilhamento CRS, Höcht et al. (1999) propuseram uma expansão de Taylor do operador CRS ZO de 2ª ordem que é totalmente representado em termo dos três parâmetros do método CRS 2-D.

4.1 EXPANSÕES DE TEMPOS DE TRÂNSITO

4.1.1. Eventos de reflexão

4.1.1.1. Expansão de Taylor para t^2

A continuação assume-se que os dados de cobertura múltipla são adquiridos sobre uma linha sísmica horizontal. Sobre esta linha considera-se um raio de reflexão primária ZO fixo (chamado raio central). O raio central é especificado pela coordenada x_0 que localiza o par fonte-receptor coincidentes. Os raios de reflexão primária (paraxiais) próximos do raio central, são especificados pelas coordenadas ponto-médio e meio-afastamento (x_m, h) . Denota-se por t_0 o tempo de trânsito ida e volta do raio central ZO. Da mesma maneira, assume-se que os parâmetros (β_0, K_{NIP}, K_N) são conhecidos. Para um raio paraxial especificado pelas coordenadas (x_m, h) , denota-se por $t_4(x_m, h)$ o tempo de trânsito hiperbólico CRS ZO ou **operador CRS ZO de 4ª ordem**. É dado por (Höcht et al, 1999):

$$\begin{aligned}
t_4^2(x_m, h) = & t_2^2 + \frac{2 \sin \beta_0 \cos^2 \beta_0}{v_o^2 R_N^2} (2R_N - v_o t_o) (x_m - x_o)^3 \\
& + \frac{2 \sin \beta_0 \cos^2 \beta_0 (2R_{NIP} R_N - 2v_o t_o R_{NIP} - v_o t_o R_N)}{v_o R_{NIP}^2 R_N} (x_m - x_o) h^2 \\
& + \frac{\cos^2 \beta_0 \left[R_N (10 \cos^2 \beta_0 - 8) + v_o t_o (4 - 5 \cos^2 \beta_0) \right]}{2v_o^2 R_N^3} (x_m - x_o)^4 \\
& + \frac{\cos^2 \beta_0 \left[v_o t_o R_{NIP}^2 (6 - 8 \cos^2 \beta_0) + v_o t_o R_{NIP} R_N (4 - 5 \cos^2 \beta_0) + \right.}{v_o^2 R_{NIP}^3 R_N^2 \left[2v_o t_o R_N^2 \sin^2 \beta_0 - 4R_{NIP} R_N^2 \sin^2 \beta_0 + R_{NIP} R_N (10 \cos^2 \alpha - 8) \right]} (x_m - x_o)^2 h^2 \\
& \left. + \frac{\cos^2 \beta_0 (4v_o t_o R_{NIP} \sin^2 \beta_0 - v_o t_o R_N \cos^2 \beta_0 + 2R_{NIP} R_N \cos^2 \beta_0)}{2v_o^2 R_{NIP}^3 R_N} h^4 \right. \quad (4.1a)
\end{aligned}$$

e o **operador CRS de 2ª ordem** (t_2^2) (Tygel et al, 1997) é expresso por

$$t_2^2(x_m, h) = \left[t_0 + \frac{2 \sin \beta_0}{v_0} (x_m - x_0) \right]^2 + \frac{2t_0 \cos^2 \beta_0}{v_0} \left[K_N (x_m - x_0)^2 + K_{NIP} h^2 \right] \quad (4.1b)$$

Estes dois operadores do método de empilhamento CRS são apresentados a continuação para um modelo 2-D (Figura 4.1).

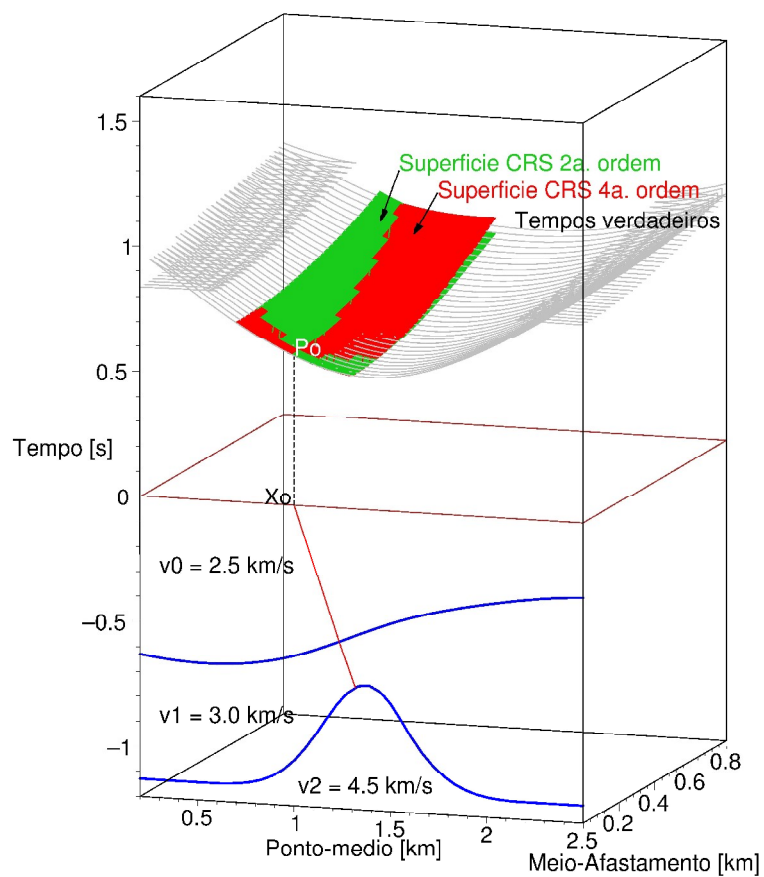


Figura 4.1. Parte inferior (frontal): meio 2-D constituído por duas camadas sob um semi-espço. Parte superior: curvas de tempos de trânsito CO dos dados pré-empilhados (linhas cor cinza) e as superfícies CRS ZO de 2ª ordem (superfície cor verde) e de 4ª ordem (superfície cor vermelha), respectivamente.

4.1.1.2. Configurações Sísmicas

Para configurações particulares, as anteriores expressões de tempos de trânsito se reduzem para as seguintes formas simples.

4.1.1.2.1. Configuração CMP

Para esta configuração cujo ponto médio é x_0 , defini-se $x_m = x_0$. Com isso as expansões reduzem-se. Abaixo segue as expansões para as três formas expandidas acima.

$$t_{4,CMP}^2(h) = t_{2,CMP}^2 + \frac{\cos^2 \beta_0 (4v_o t_o R_{NIP} \sin^2 \beta_0 - v_o t_o R_N \cos^2 \beta_0 + 2R_{NIP} R_N \cos^2 \beta_0)}{2v_o^2 R_{NIP}^3 R_N} h^4 \quad (4.2a)$$

Sendo o tempo de trânsito CMP de 2ª ordem $(t_{2,CMP}^2)$ expressa por

$$t_{2,CMP}^2(h) = t_o^2 + 2 \frac{t_o \cos^2 \beta_0}{v_o R_{NIP}} h^2 \quad (4.2b)$$

4.1.1.2.2. Configuração ZO

A configuração ZO é caracterizada pela condição $h=0$. Para esta configuração o operador CRS de 4ª ordem se reduz para

$$t_{4,ZO}^2(x_m) = t_{2,ZO}^2 + \frac{2 \sin \beta_0 \cos^2 \beta_0}{v_o^2 R_N^2} (2R_N - v_o t_o) (x_m - x_o)^3 + \frac{\cos^2 \beta_0 [R_N (10 \cos^2 \beta_0 - 8) + v_o t_o (4 - 5 \cos^2 \beta_0)]}{2v_o^2 R_N^3} (x_m - x_o)^4 \quad (4.3a)$$

sendo $t_{2,ZO}^2$ o operador CRS de 2ª ordem para a configuração ZO dado por

$$t_{2,ZO}^2(x_m) = t_o^2 + 4 \frac{t_o \sin \beta_0}{v_o} (x_m - x_o) + 2 \frac{v_o t_o \cos^2 \beta_0 + 4R_N \sin^2 \beta_0}{v_o^2 R_N} (x_m - x_o)^2 \quad (4.3b)$$

Este tempo de trânsito de 2ª, 3ª e 4ª ordem dependem de dois, três ou quatro coeficientes que são combinações de unicamente dois parâmetros CRS $(\beta_0, K_N = 1/R_N)$.

4.1.2. Eventos de Difração

As ondas NIP e N são ondas fictícias que se iniciam no ponto (central) fonte-receptor coincidente, propagando-se para baixo do meio, reflete na interface e retorna para o mesmo ponto

central. Além disso, cada uma dessas ondas é tal que as curvaturas nos pontos inicial e final são as mesmas. Devido a essa propriedade que são referidas como auto-ondas (eigenwaves). Ambas as ondas são caracterizadas pela forma de suas frentes de onda no ponto de reflexão do raio normal. Para a onda NIP, a frente de onda colapsa em um ponto. Para a onda N, a frente de onda tem localmente a mesma forma (mesma curvatura) que o refletor.

A partir das observações anteriores, considera-se o caso de uma difração pura, isto é, a situação onde o refletor se reduz para um particular ponto de difração. Então, as ondas NIP e N se reduzem para ondas idênticas, ambas iniciando desde uma fonte pontual, i.e. $K_N = K_{NIP}$. Esta condição, chamada de condição de difração pode ser aplicada nas anteriores expressões de tempos de trânsito CRS de 2ª e 4ª ordem.

A equação dos tempos de trânsito de difração CRS de 4ª ordem é dada por

$$\begin{aligned}
t_{4,d}^2(x_m, h) = & t_o^2 + 4 \frac{t_o \sin \beta_0}{v_o} (x_m - x_o) + 2 \frac{v_o t_o \cos^2 \beta_0 + 2R_{NIP} \text{sen}^2 \beta_0}{v_o^2 R_{NIP}} (x_m - x_o)^2 + 2 \frac{t_o \cos^2 \beta_0}{v_o R_{NIP}} h^2 \\
& + \frac{2 \text{sen} \beta_0 \cos^2 \beta_0}{v_o^2 R_{NIP}^2} (2R_{NIP} - v_o t_o) (x_m - x_o)^3 + \frac{2 \text{sen} \beta_0 \cos^2 \beta_0 (2R_{NIP}^2 - 2v_o t_o R_{NIP} - v_o t_o R_{NIP})}{v_o R_{NIP}^3} (x_m - x_o) h^2 \\
& + \frac{\cos^2 \beta_0 \left[R_{NIP} (10 \cos^2 \beta_0 - 8) + v_o t_o (4 - 5 \cos^2 \beta_0) \right]}{2v_o^2 R_{NIP}^3} (x_m - x_o)^4 \\
& + \frac{\cos^2 \beta_0 \left[v_o t_o R_{NIP}^2 (6 - 8 \cos^2 \beta_0) + v_o t_o R_{NIP}^2 (4 - 5 \cos^2 \beta_0) + \right.}{v_o^2 R_{NIP}^5} \\
& \left. \left[2v_o t_o R_{NIP}^2 \text{sen}^2 \beta_0 - 4R_{NIP}^3 \text{sen}^2 \beta_0 + R_{NIP}^3 (10 \cos^2 \alpha - 8) \right] (x_m - x_o)^2 h^2 \right. \\
& \left. + \frac{\cos^2 \beta_0 (4v_o t_o R_{NIP} \text{sen}^2 \beta_0 - v_o t_o R_{NIP} \cos^2 \beta_0 + 2R_{NIP}^2 \cos^2 \beta_0)}{2v_o^2 R_{NIP}^4} h^4 \right. \quad (4.4a)
\end{aligned}$$

sendo este operador conhecido como o operador **Common-Diffraction-Surface (CDS) ZO de 4ª ordem**.

Para t_2^2 fica reduzida assim:

$$t_{2,d}^2(x_m, h) = \left[t_o + \frac{2 \text{sen} \beta_0}{v_o} (x_m - x_o) \right]^2 + \frac{2t_o \cos^2 \beta_0}{v_o} \left[\frac{(x_m - x_o)^2 + h^2}{R_{NIP}} \right] \quad (4.4b)$$

sendo conhecido como o operador **Common-Diffraction-Surface (CDS) ZO de 2ª ordem**.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.
This page will not be added after purchasing Win2PDF.

5. APLICAÇÃO DO OPERADOR DE EMPILHAMENTO CRS DE 2ª E 4ª ORDEM EM DADOS SINTÉTICOS

Na primeira parte deste capítulo é descrita a geração dos dados sintéticos e posteriormente a implementação do Empilhamento CRS no domínio do tempo de um conjunto de dados sintéticos para modelos sintéticos diferentes. Finalmente são apresentados os resultados da aplicação dos testes nos dados sintéticos.

5.1 GERAÇÃO DE DADOS SINTÉTICOS

Os dados sintéticos utilizados para testar o programa de empilhamento CRS desenvolvido foram calculados através do programa de modelamento Sísmico pela Teoria do Raio SEIS88 (Cerveny & Psencik, 1988). Os dados de entrada são sismogramas sintéticos contendo a componente longitudinal do vetor deslocamento, com o efeito da superfície da terra sendo desprezado, ou seja, a camada inferior dos modelos é considerada um semi-espaço infinito.

5.2 ETAPAS DO EMPILHAMENTO CRS

Este processo compreende as seguintes etapas:

- Cálculo por modelamento direto dos parâmetros dos raios centrais: β_o , R_{NIP} , R_N , t_o .
- Implementação dos operadores CRS de 2ª e 4ª ordem.
- Empilhamento CRS de 2ª e 4ª ordem: somatório das amplitudes dos traços que formam parte desta superfície de empilhamento para cada raio central. Os traços envolvidos no empilhamento encontram-se discretizados, desta forma a amplitude correspondente a um determinado tempo é obtida por interpolação linear.
- Simulação da seção sísmica ZO.

5.3. TESTES COM DADOS SINTÉTICOS

5.3.1. Comparação entre os operadores de empilhamento CRS

Para o modelo sintético 2-D (ver Figura 5.1), foi comparada a eficácia do operador CRS de 4ª ordem e do operador CRS de 2ª ordem para aproximar reflexões e difrações segundo as configurações sísmicas CMP e CO, respectivamente. Nesta oportunidade, as avaliações foram feitas nas coordenadas dos pontos médios

$x_0 = 0.7\text{km}$, $x_0 = 1.0\text{km}$ e $x_0 = 2.125\text{km}$, respectivamente. Os primeiros testes foram realizados por Chira et al. (2004) considerando outras coordenadas dos pontos médios.

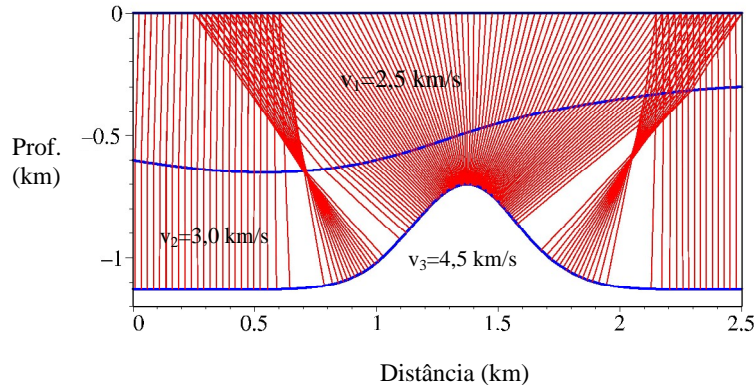


Figura 5.1 Modelo 2-D constituído por duas camadas de velocidade constante sobre um semi-espaço infinito.

Ambas as aproximações CRS foram comparadas com os tempos de trânsito verdadeiros calculados pelo traçamento de raio. Os experimentos são realizados considerando eventos de reflexão e difração. Nas Figuras 5.2 e 5.4 são apresentadas os resultados da aproximação para o caso de uma reflexão segundo as configurações CMP e CO, respectivamente. Nas Figuras 5.3 e 5.5, são apresentados os resultados correspondentes para o caso de evento de difração.

Os experimentos realizados confirmam o trabalho realizado por Chira et al. (2004) onde se mostra uma melhora significativa, em exatidão e no intervalo de abertura, em favor do operador CRS de 4ª ordem. Este comportamento acontece para as diferentes coordenadas dos diversos pontos médios levados em consideração neste caso tanto para reflexão e difração.

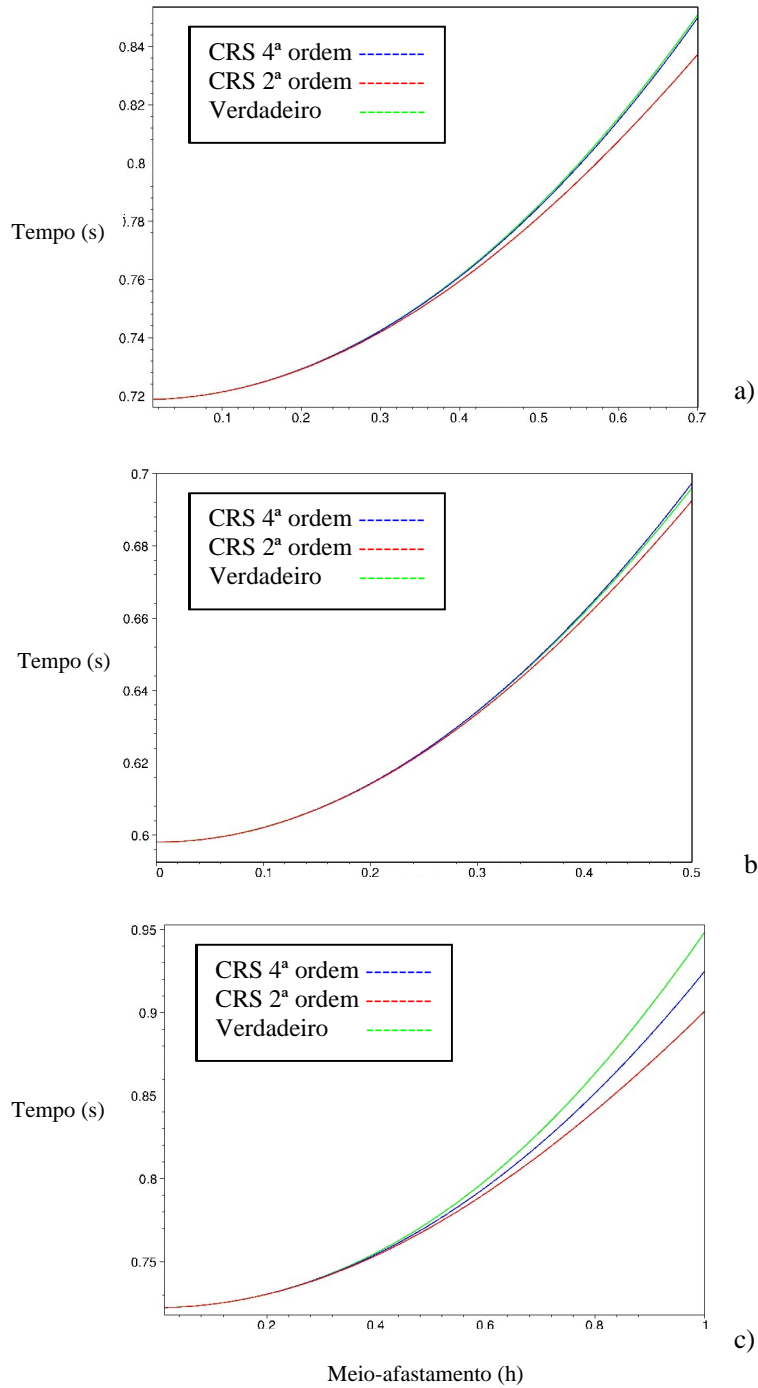


Figura 5.2. Aproximações de tempos de trânsito CMP (verdadeiros, CRS 2ª ordem e CRS 4ª ordem) para eventos de *reflexão* nos pontos centrais a) $x_0 = 0.7 \text{ km}$, b) $x_0 = 1.0 \text{ km}$ e c) $x_0 = 2.25 \text{ km}$.

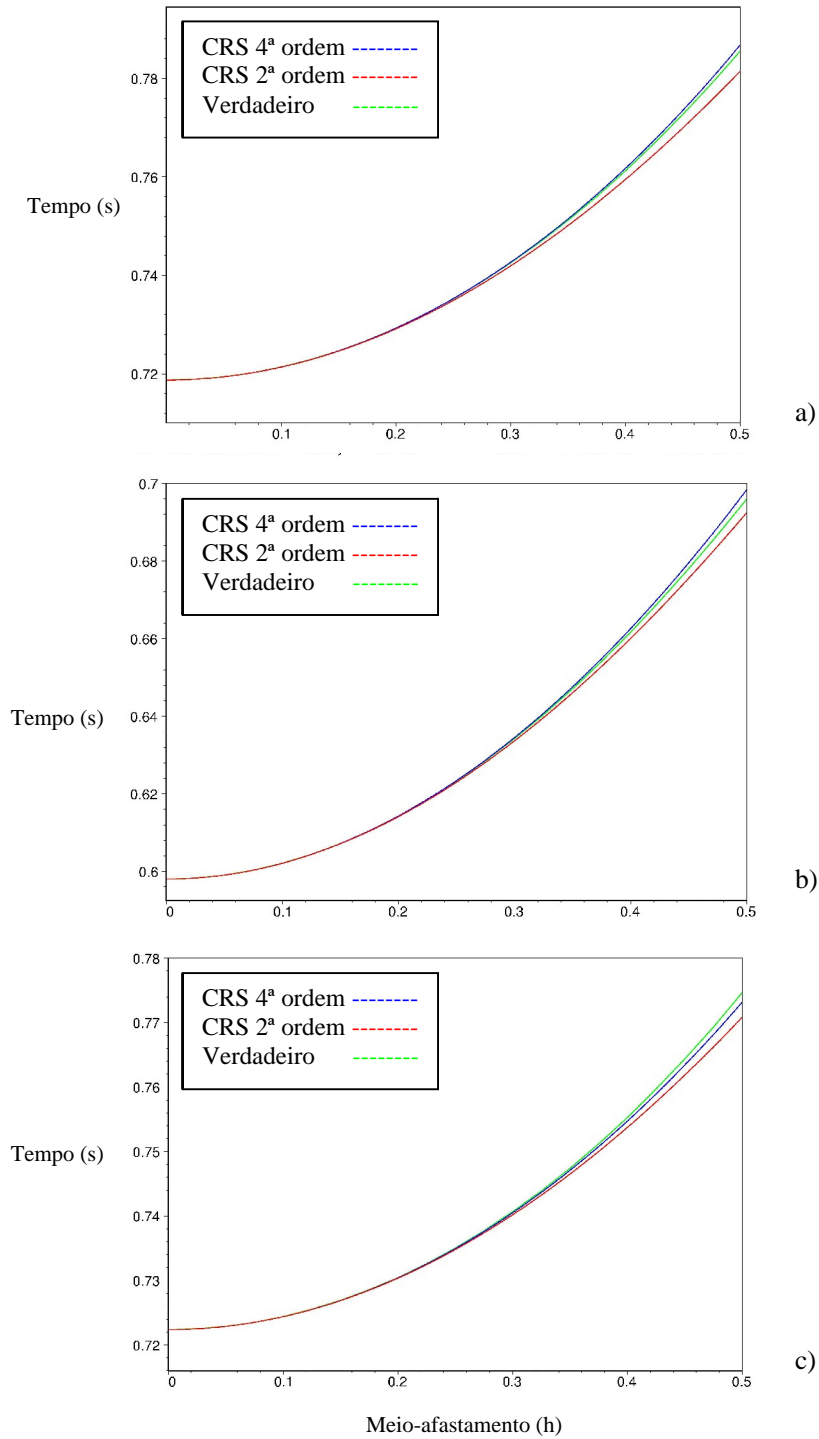


Figura 5.3. Aproximações de tempos de trânsito CMP (verdadeiros, CRS 2ª ordem e CRS 4ª ordem) para eventos de *difração* nos pontos centrais a) $x_0 = 0.7 \text{ km}$, b) $x_0 = 1.0 \text{ km}$ e c) $x_0 = 2.25 \text{ km}$.

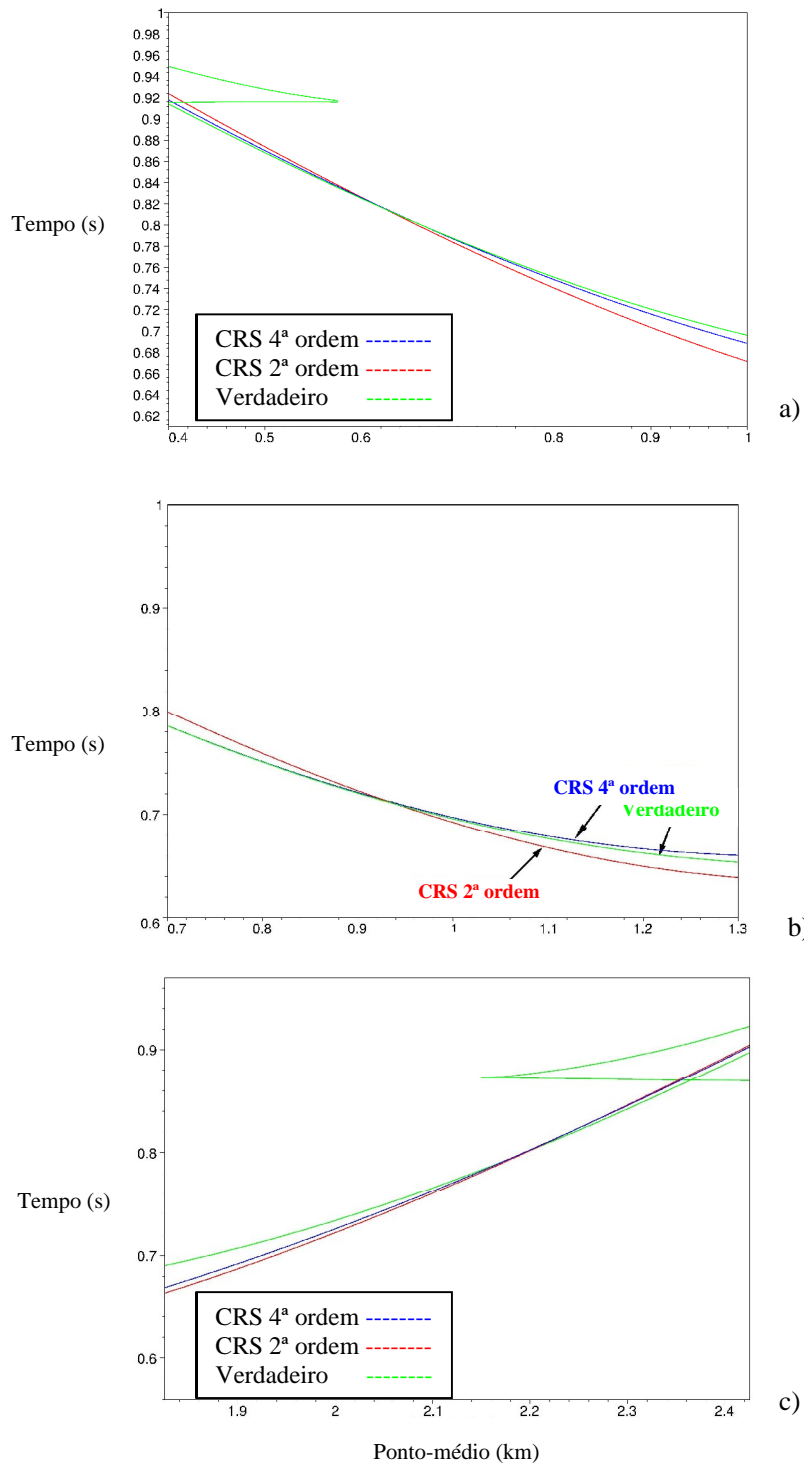


Figura 5.4. Aproximações de tempos de trânsito CO (verdadeiros, CRS 2ª ordem, CRS 4ª ordem) para eventos de *reflexão* nos pontos centrais a) $x_0 = 0.7 \text{ km}$, b) $x_0 = 1.0 \text{ km}$ e c) $x_0 = 2.25 \text{ km}$.

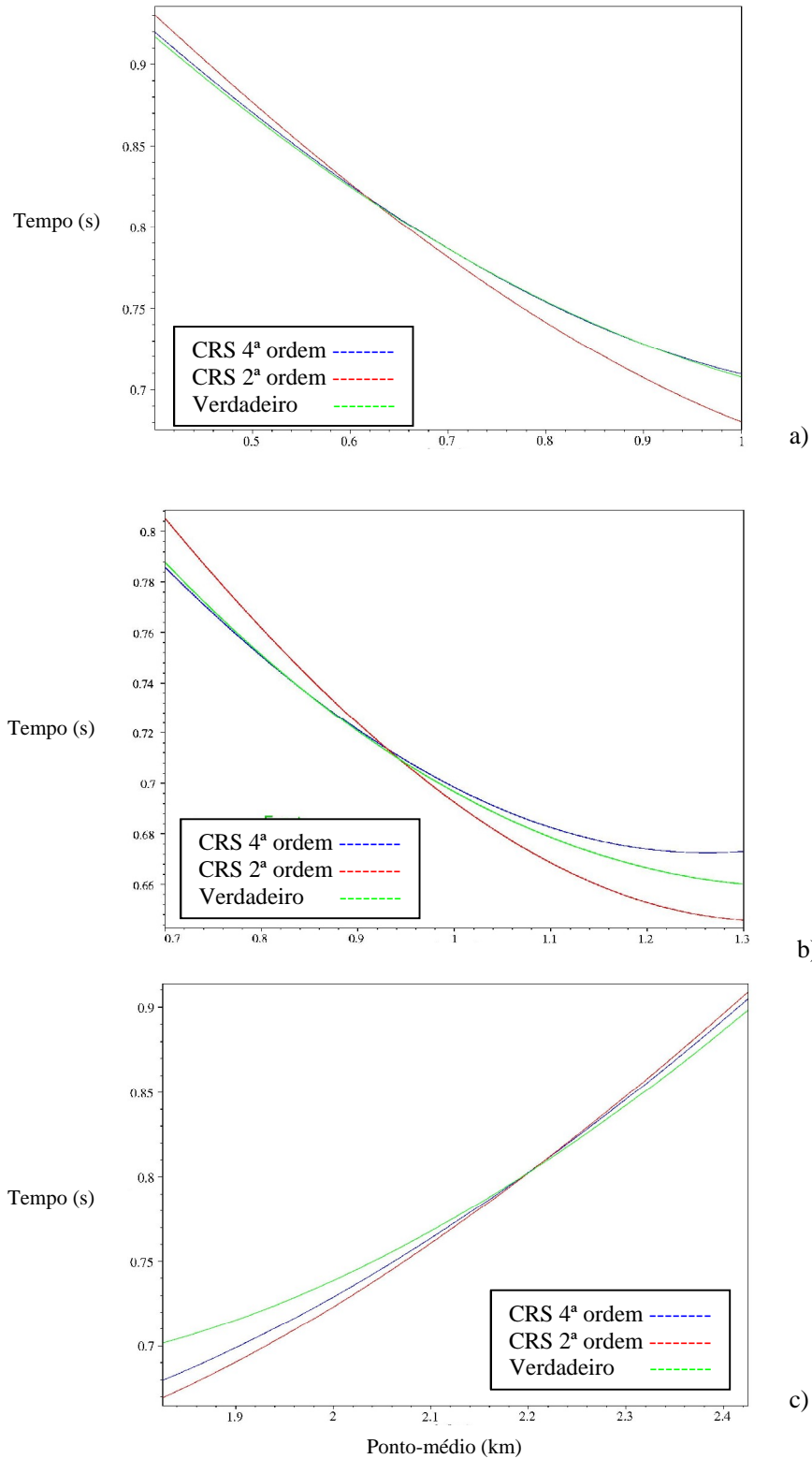


Figura 5.5. Aproximações de tempos de trânsito CO (verdadeiros, CRS 2ª ordem e CRS 4ª ordem) para eventos de difração nos pontos centrais a) $x_0 = 0.7 \text{ km}$, b) $x_0 = 1.0 \text{ km}$ e c) $x_0 = 2.25 \text{ km}$.

Devido a sua boa performance, o operador CRS de 4ª ordem pode ser considerado como uma opção para intervalos maiores de afastamentos. Geralmente, pode-se considerar o operador CRS de 4ª ordem para h não maior que 0.7 km. Ambos operadores não são apropriados para afastamento muito grandes.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.
This page will not be added after purchasing Win2PDF.

5.3.2. Empilhamento CRS 2-D com os operadores de 2ª e 4ª ordem

Os testes realizados visaram demonstrar a eficiência deste algoritmo de empilhamento CRS para simular seções de afastamento nulo em dados sintéticos livres ruído e com ruído.

5.3.2.1 Modelo suavemente curvado

A velocidade da onda P na camada superior é de 2.5 km/s e na camada inferior é de 3.5km/s (Figura 5.6 inferior). Na Figura 5.6 superior, apresenta-se a curva dos tempos de trânsito dos raios de reflexão normal.

O empilhamento CRS foi aplicado ao cubo de dados sintéticos gerados segundo uma configuração CS. Estes dados de reflexão de cobertura múltipla foram simulados pelo método do raio (Software SEIS88 (Cerveny e Psencik, 1988)), para afastamentos médios desde $h=0.0$ km até $h=0.4$ km com um intervalo $\Delta h = 0.0125$ km em cada seção sísmica dos dados, com afastamentos de 0.025 km em cada posição. A forma do sinal é representada pela função Gabor com frequência dominante de 50 Hz. Os resultados do empilhamento CRS de 2ª e 4ª ordem são apresentados nas Figuras 5.7b e 5.7c respectivamente.

Comparando a seção ZO verdadeira (Figura 5.7a) e a seção empilhada CRS de 4ª ordem (Figura 5.2c), observam-se uma boa recuperação dos traços simulados, com uma variação muito pequena nas amplitudes dos últimos traços perto as coordenadas do ponto médio: $x_m = 1.8$ km, além disso, estes traços são bem aproximados dos traços da seção ZO verdadeira, demonstrando o operador CRS de 4ª ordem ser uma boa alternativa na aproximação dos tempo de trânsito verdadeiros. Ao serem comparadas as seções empilhadas obtidas pelos dois operadores CRS, de 2ª e 4ª ordem, ambos operadores simulam bem a seção ZO.

Na figura 5.8 apresenta-se uma comparação entre o traço ZO verdadeiro correspondente a coordenada do ponto central em $x_0 = 1.2$ km, e o referido ao empilhamento CRS de 2ª e 4ª ordem, respectivamente. Observa-se que a forma do traço sísmico empilhado em ambos os operadores se conserva muito bem referente à forma original. Na Figura 5.4, compara-se também, o traço sísmico da seção de afastamento

nulo e os traços sísmicos empilhados (CRS de 2ª e 4ª ordem), normalizados pelo número de traços. Verificando-se assim que ambos operadores, não preservam as amplitudes dos traços sísmicos simulados.

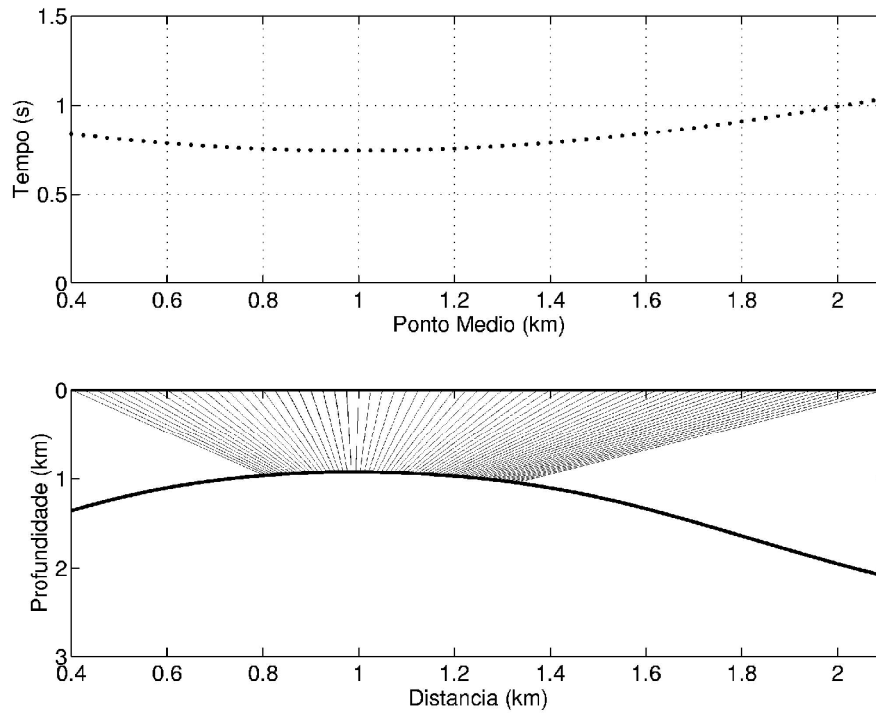
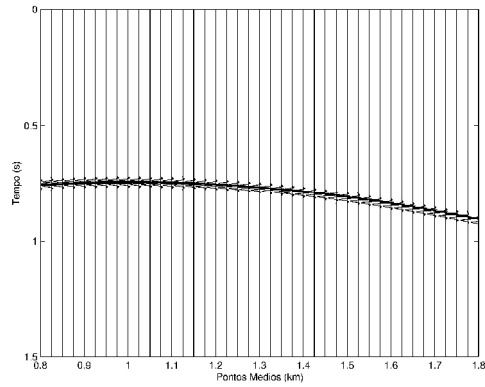
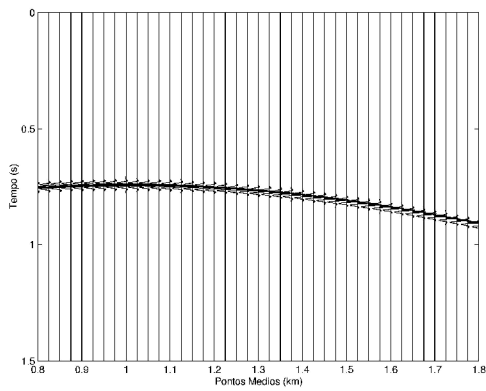


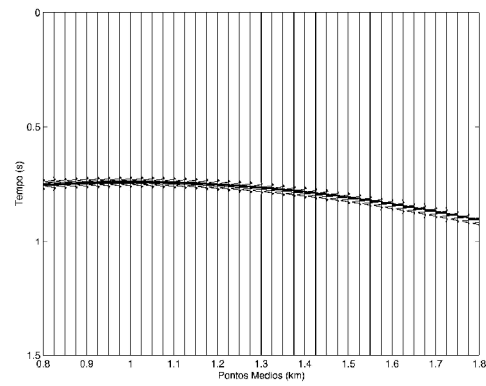
Figura 5.6 Parte inferior: modelo constituído por uma camada de velocidade constante de 2.5 km/s e um semi-espaco infinito com uma velocidade de 3.5 km/s respectivamente e seus correspondentes raios de afastamento nulo (ZO). Parte superior: seus respectivos tempos de trânsito para $h = 0.0$ m.



a)



b)



c)

Figura 5.7 Seções correspondentes ao modelo suavemente curvado da Figura 5.6. a)Seção sísmica sintética ZO. Foi utilizada a função Gabor com frequência dominante de 50 Hz como pulso da fonte e os traços possuem intervalo de amostragem dominante de 25ms. b)Seção empilhada CRS de 2ª ordem. c)Seção empilhada CRS de 4ª ordem.

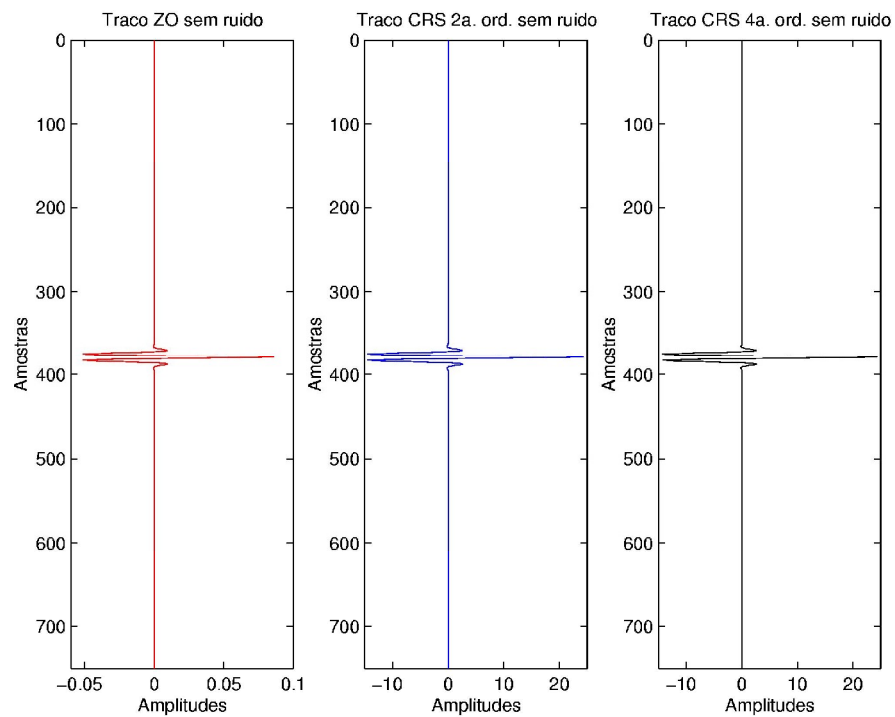


Figura 5.8 Comparação dos traços sísmicos empilhados (modelo da Figura 5.6) correspondentes à posição do raio normal (central) em $x_0=1.2$ km, da seção de afastamento nulo (SZO), seção empilhada CRS de 2ª e 4ª ordem, respectivamente.

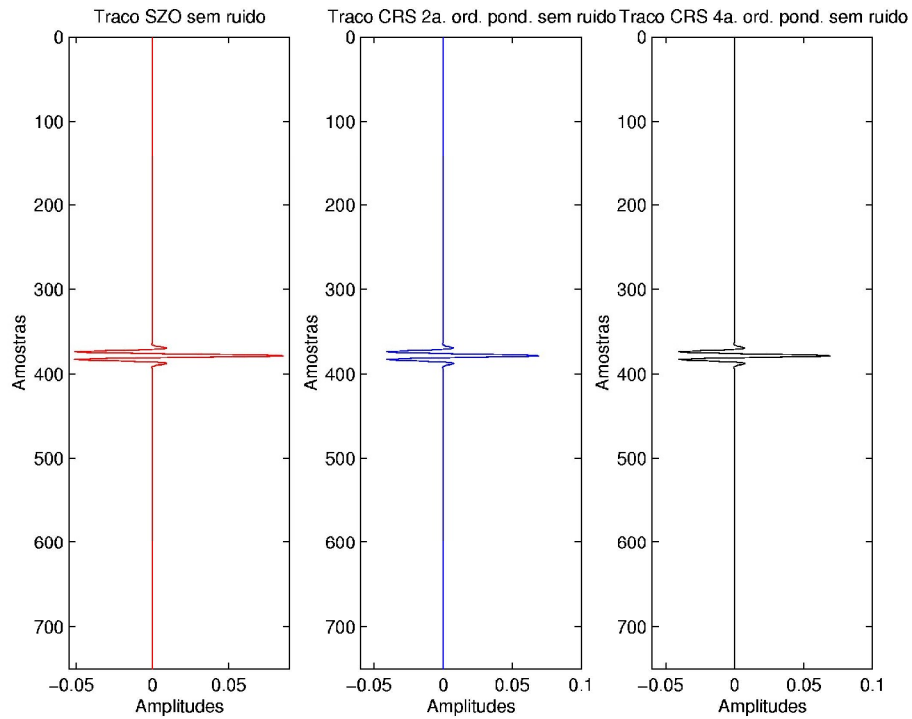


Figura 5.9 Comparação dos traços sísmicos empilhados, normalizados pelo número de traços (modelo da Figura 5.6) correspondentes à posição do raio normal (central) em $x_0=1.2$ km, da seção de afastamento nulo (SZO), seção empilhada CRS de 2ª e 4ª ordem, respectivamente.

5.3.2.2. Modelo tipo domo

Nesta parte será aplicado o algoritmo a um modelo com presença de cáustica, ou seja, raios de curvatura negativa.

O modelo utilizado esta referida á Figura 5.10 o qual consiste de uma camada com velocidade constante de 2.5 km, sobre um semi-espaço infinito de velocidade 3.0 km/s, separados por um refletor tipo domo. Foram traçados raios na configuração CS, sendo a primeira fonte posicionada em $x_S = 0.0$ km na superfície e 48 geofones foram distribuídos separados 0.025 km entre eles e o primeiro receptor em $x_G=0.1$ km; com um número de 121 shots disparados, sendo a distância entre cada shot de 0.025 km.

A seção de afastamento nulo (Figura 5.11a) a ser simulada consta de 101 raios na configuração de afastamento nulo, com afastamento de 0.025 km. entre os pares fonte-receptor. Como pulso da fonte foi novamente utilizada a função Gabor com uma frequência de 50 Hz.

Os resultados da aplicação do empilhamento CRS de 2ª e 4ª ordem, são amostradas na Figuras 5.11b e 5.11c, respectivamente. Ao serem comparadas as seções empilhadas pelos dois operadores (Figuras 5.11b e 5.11c), ambos operadores de uma maneira geral simulam bem a seção de afastamento nulo (Figura 5.11a).

Na figura 5.12 apresenta-se uma comparação entre o traço ZO original verdadeiro correspondente a coordenada $x = 1.3$ km, e os traços sísmicos recuperados como produto do empilhamento CRS usando os operadores de 2ª e 4ª ordem, respectivamente. Observa-se que a forma do traço sísmico empilhado como ambos operadores se conserva muito bem referente à forma original. No caso, da Figura 5.13, compara-se também, o traço sísmico da seção de afastamento nulo e os traços sísmicos empilhados (CRS de 2ª e 4ª ordem), normalizados pelo número de traços. Verificando-se que ambos operadores apresentam um bom desempenho na simulação de seções de afastamento nulo, mas não preservam as amplitudes.

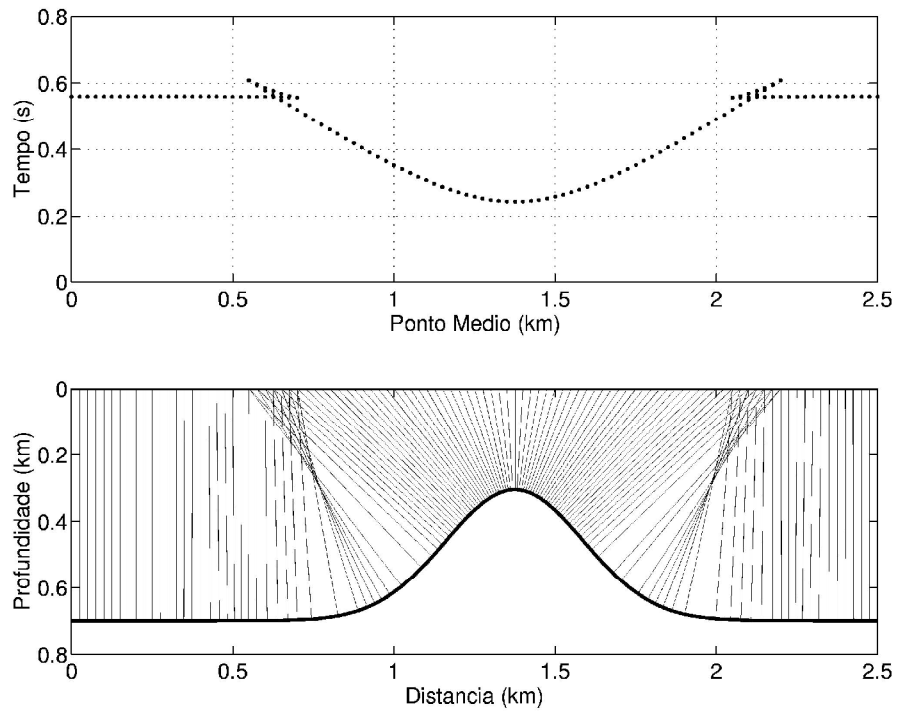
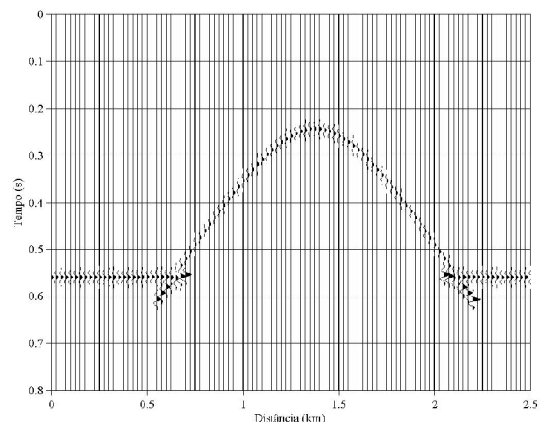
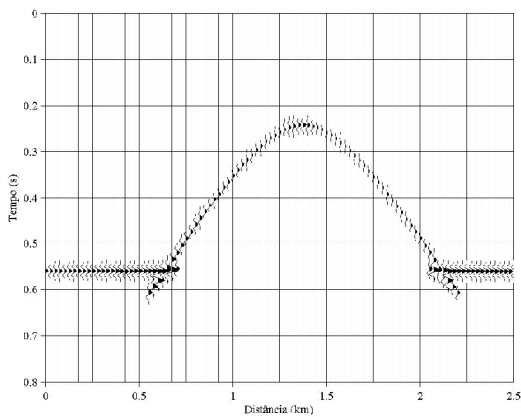


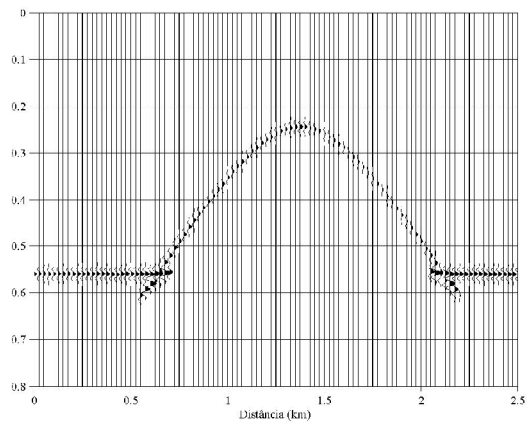
Figura 5.10 Parte inferior: modelo tipo domo constituído por uma camada de velocidade constante de 2.5 km/s e um semi-espaco infinito com uma velocidade de 3.0 km/s respectivamente e seus correspondentes raios de afastamento nulo (ZO) apresentando caústica. Parte superior: os correspondentes tempos de trânsito para $h = 0.0$ m são mostrados.



a)



b)



c)

Figura 5.11 Seções correspondentes ao modelo tipo domo da Figura 5.10. a) Seção sísmica sintética ZO. Foi utilizada a função Gabor com frequência dominante de 50 Hz como pulso da fonte e os traços possuem intervalo de amostragem dominante de 25ms. b) Seção empilhada CRS de 2ª ordem. c) Seção empilhada CRS de 4ª ordem.

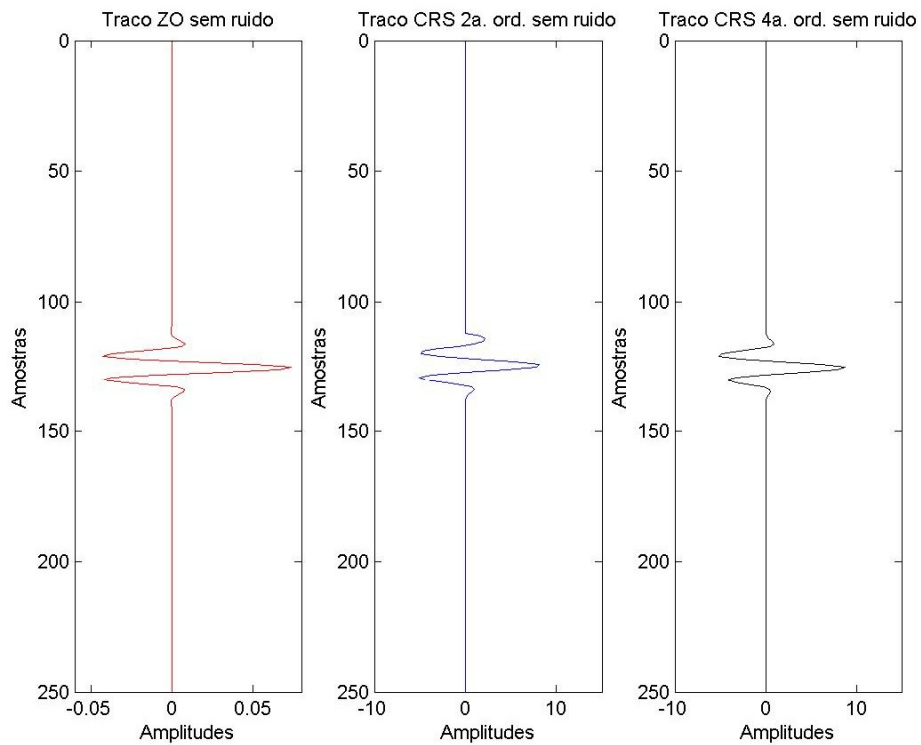


Figura 5.12 Comparação dos traços sísmicos empilhados (modelo da Figura 5.10) correspondentes à posição do raio normal (central) em $x_0=1.3$ km, da seção de afastamento nulo (SZO), seção empilhada CRS de 2ª e 4ª ordem, respectivamente.

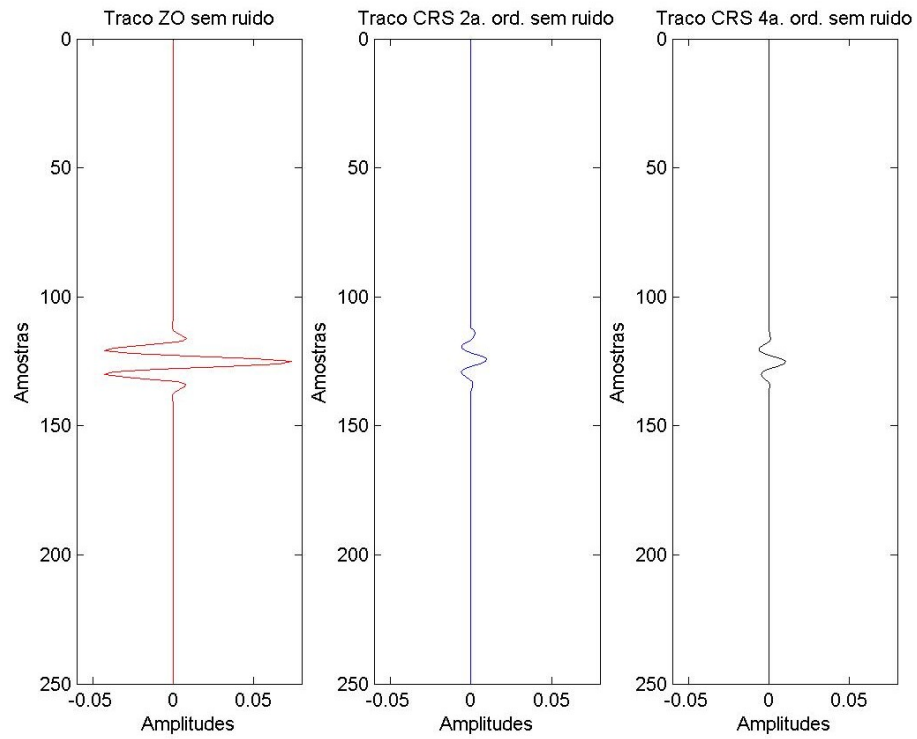


Figura 5.13 Comparação dos traços sísmicos empilhados, normalizados pelo número de traços (modelo da Figura 5.10) correspondentes à posição do raio normal (central) em $x_0=1.3$ km, da seção de afastamento nulo (SZO), seção empilhada CRS de 2ª e 4ª ordem.

5.3.2.3. Modelo com várias camadas

Este modelo (Figura 5.14) consiste de duas camadas com velocidades constantes de 2.5 km/s, 3.0 km/s, respectivamente, sobre um semi-espago infinito de 3.5 km/s, separados por refletores curvados. Foram traçados raios na configuração CS, sendo a primeira fonte posicionada em $x_S = 0.0$ km na superfície e 48 geofones foram distribuídos separados entre eles e o primeiro receptor em $x_G = 0.1$ km; com um número de 81 shots disparados, sendo a distância entre cada shot de 0.05 km.

A seção de afastamento nulo (Figura 5.15a) a ser simulada, consta de 77 raios na configuração de afastamento nulo, com afastamento de 0.05 km entre cada posição de traço. Como pulso fonte foi utilizado a função Gabor com frequência de 50 Hz..

Os resultados da aplicação do empilhamento CRS de 2ª e 4ª ordem, amostram-se nas Figuras 5.15b e 5.15c. Estas seções empilhadas (comparadas com a SZO verdadeira) apresentam uma boa recuperação dos traços sísmicos.

Ao serem comparadas as seções empilhadas pelos dois operadores CRS (Figura 5.15b e 5.15c), ambos operadores de uma maneira geral simulam bem a seção de afastamento nulo (Figura 5.10a).

Com a finalidade de verificar o desempenho computacional dos operadores CRS foi calculado o tempo computacional dos mesmos segundo a tabela abaixo:

OPERADOR	TEMPO COMPUTACIONAL
-CRS de 2ª ordem	1'39.95''
-CRS de 4ª ordem	1'40''

observa-se que para o modelamento direto o tempo computacional é muito próximo um do outro.

Na Figura 5.16 apresenta-se uma comparação entre o traço ZO original correspondente a coordenada $x = 1.15$ km, e os traços sísmicos recuperados como produto do empilhamento CRS usando os operadores de 2ª e 4ª ordem, respectivamente. Observa-se que a forma do traço sísmico empilhado como ambos operadores se

conserva muito bem referente à forma original. No caso, da Figura 5.17, compara-se também, o traço sísmico da seção de afastamento nulo e os traços sísmicos empilhados (CRS de 2ª e 4ª ordem), normalizados pelo número de traços. Ambos operadores apresentam um bom desempenho na simulação da seção ZO, mas não preservam as amplitudes.

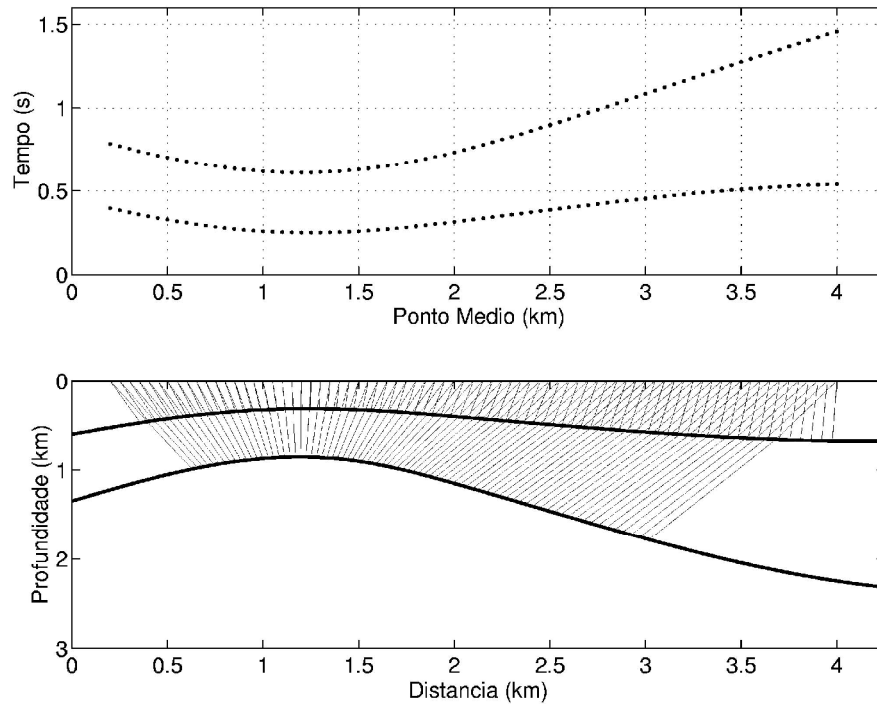
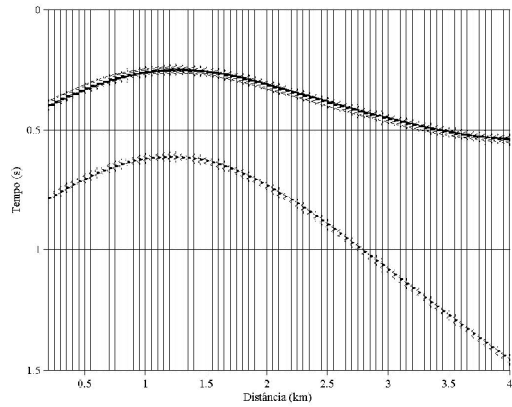
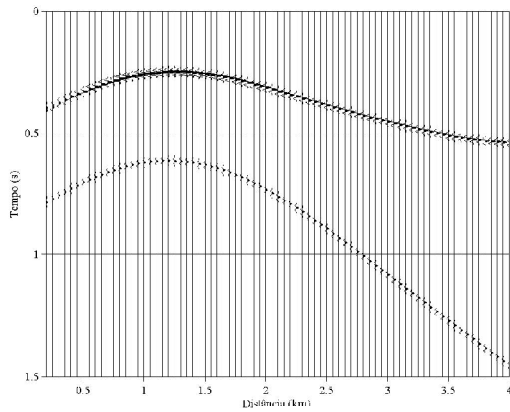


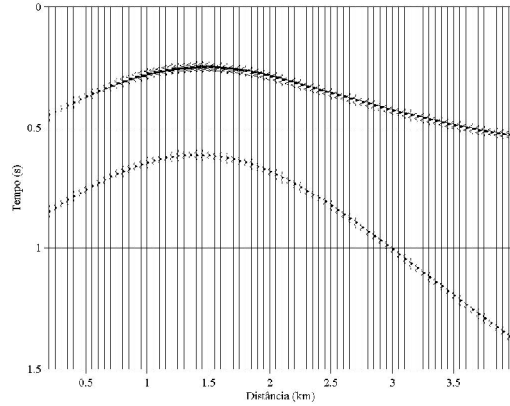
Figura 5.14 Modelo com várias camadas: duas interfaces entre três camadas homogêneas. Os raios ZO dos refletores curvados (Figura inferior) e seus respectivos tempos de trânsito (Figura superior) e seus respectivos tempos de trânsito para $h = 0.0$ m são mostrados.



a)



b)



c)

Figura 5.15 Seções correspondentes ao modelo da Figura 5.14. a)Seção sísmica sintética para ZO. Foi utilizada função Gabor com freqüência dominante de 50 Hz como pulso da fonte e os traços possuem intervalo de amostragem dominante de 25ms. b)Seção empilhada CRS de 2ª ordem. c)Seção empilhada CRS de 4ª ordem.

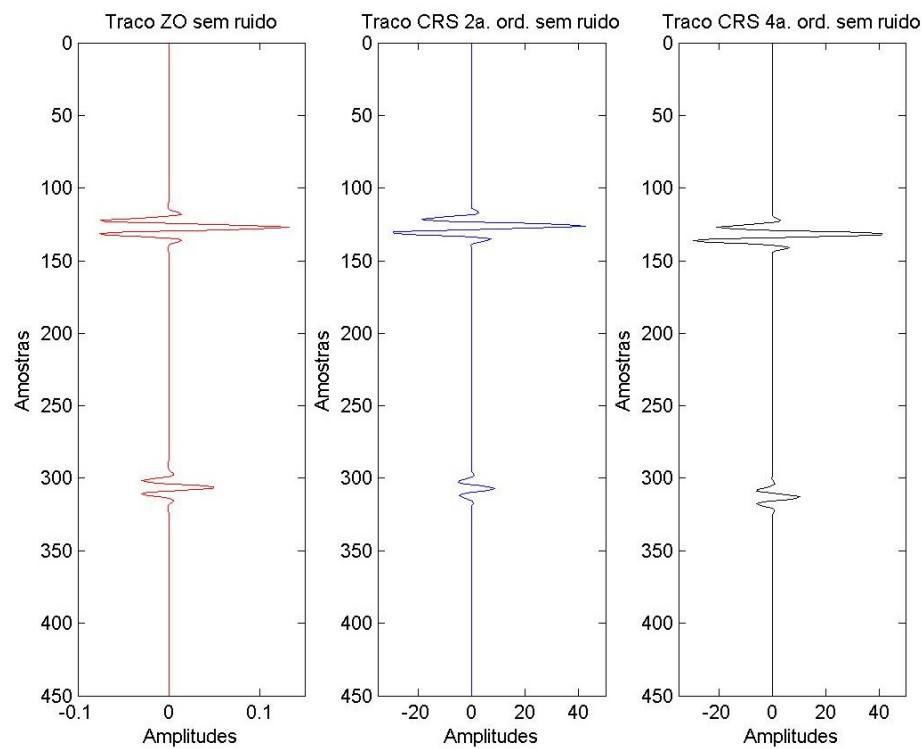


Figura 5.16 Comparação dos traços sísmicos empilhados (modelo da Figura 5.14) correspondentes à posição do raio normal (central) em $x_0=1.15$ km, da seção de afastamento nulo (SZO), seção empilhada CRS de 2ª e 4ª ordem, respectivamente.

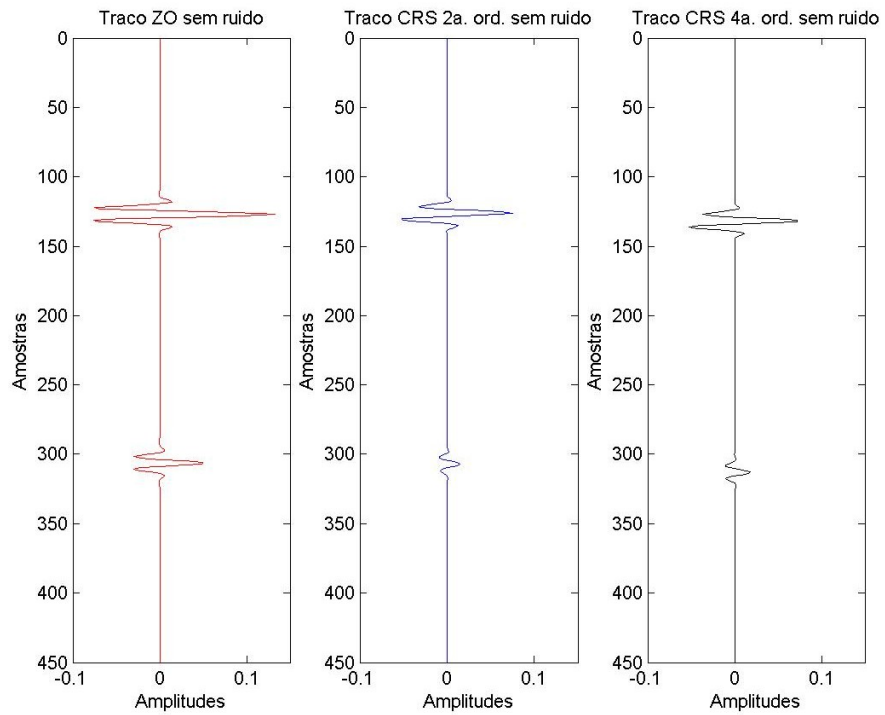


Figura 5.17 Comparação dos traços sísmicos empilhados, normalizados pelo número de traços (modelo da Figura 5.14) correspondentes à posição do raio normal (central) em $x_0=1.15$ km, da seção de afastamento nulo (SZO), seção empilhada CRS de 2^a e 4^a ordem.

5.3.2. Empilhamento CRS em dados com ruído

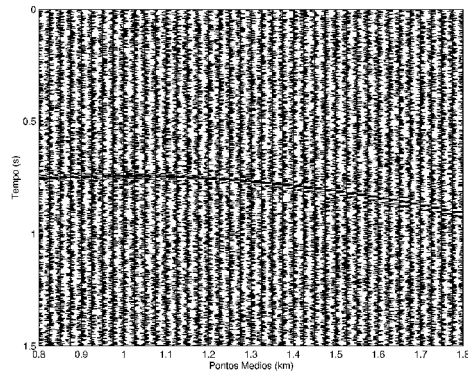
Foi analisada também a influência do ruído no resultado do empilhamento CRS para os operadores de 2ª e 4ª ordem. Adicionou-se ruído aos dados sísmicos de cobertura múltipla com distribuição uniforme de tal modo que a relação sinal/ruído foi 2.

Foi considerado para esta análise o primeiro modelo sintético (Figura 5.6). A seção ZO verdadeiro com ruído é apresentada na Figura 5.18a.

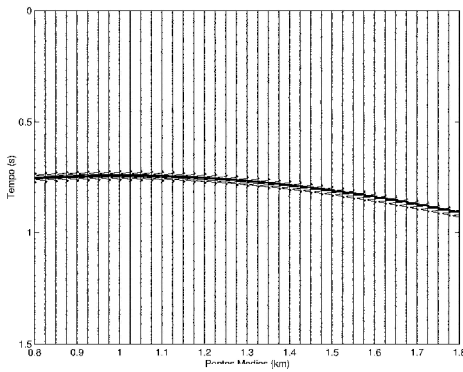
Aplicou-se o empilhamento CRS considerando os dois operadores para estes dados sísmicos contendo ruído. Os resultados são apresentados nas Figuras 5.18b e 5.18c. Observa-se nesta seção empilhada que a posição do refletor coincide igual que da seção ZO original com ruído, apresentando-se uma boa recuperação dos traços sísmicos empilhados, sendo eliminado em grande parte o ruído. Este resultado se reflete para ambos operadores CRS, obtendo uma boa simulação da seção ZO.

Na Figura 5.19 são comparados os traços correspondentes à coordenada do ponto médio, $x = 1.2 \text{ km}$, das seções ZO com ruído, CRS de 2ª e 4ª ordem, respectivamente. Observa-se que o traço recuperado é bem simulado por ambos operadores ainda em presença de ruído, o qual é eliminado em sua maior parte. Na Figura 5.20 compara-se também, o traço sísmico da seção de afastamento nulo com ruído e os traços sísmicos empilhados (CRS de 2ª e 4ª ordem), normalizados pelo número de traços. Ambos operadores simulam bem a seção ZO, mas não preservam as amplitudes.

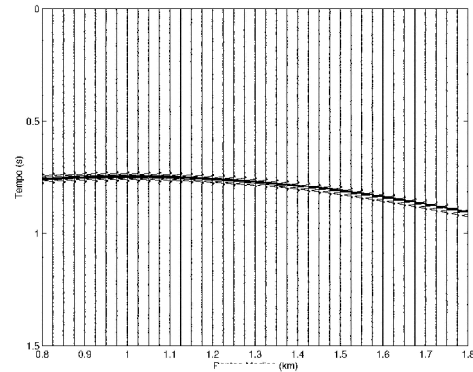
Com a finalidade de testar os operadores CRS em dados com maior presença de ruído foram gerados dados sintéticos para o mesmo modelo da Figura 5.6. Adicionou-se ruído aos dados sísmicos de cobertura múltipla com distribuição uniforme de tal modo que a relação sinal/ruído foi de 0.5. Ambos operadores apresentaram uma boa recuperação dos traços sísmicos empilhados ZO, sendo também eliminado em grande parte o ruído (Figuras 5.21).



a)



b)



c)

Figura 5.18 a) Seção ZO com ruído distribuído uniformemente para o modelo da Figura 5.6, sendo a relação sinal/ruído de $s/r=2$. b) Seção empilhada CRS de 2ª ordem a partir dos dados de cobertura múltipla com a relação $s/r=2$. c) Seção empilhada CRS de 4ª ordem a partir dos dados de cobertura múltipla com a relação $s/r=2$.

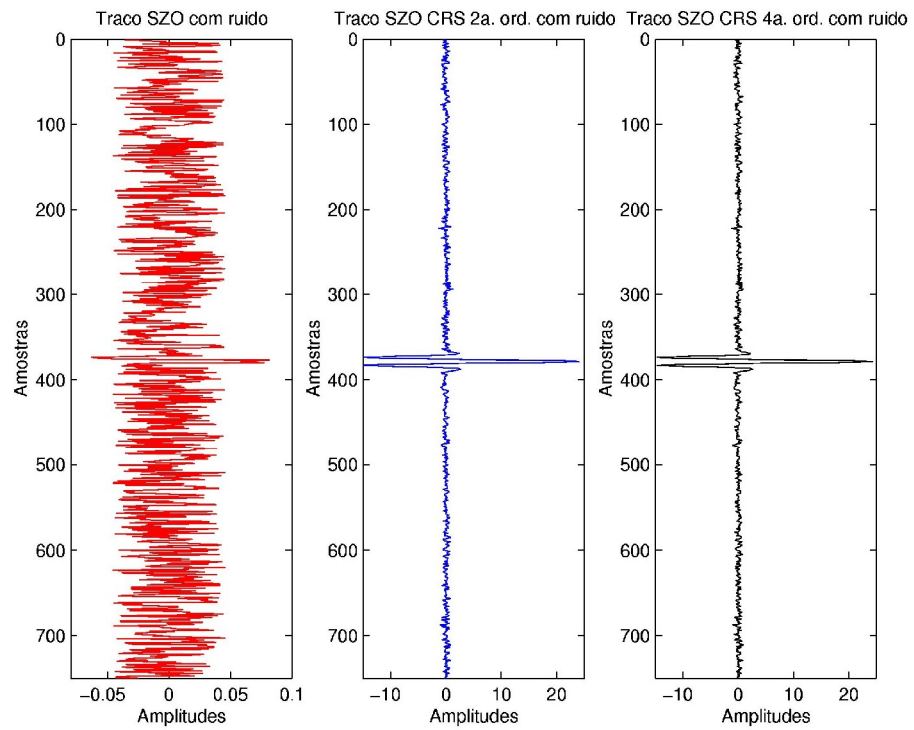


Figura 5.19 Comparação dos traços sísmicos empilhados (modelo da Figura 5.6) correspondentes à posição do raio normal (central) em $x_0=1.2$ km, da seção ZO, seção empilhada CRS de 2ª e 4ª ordem, respectivamente.

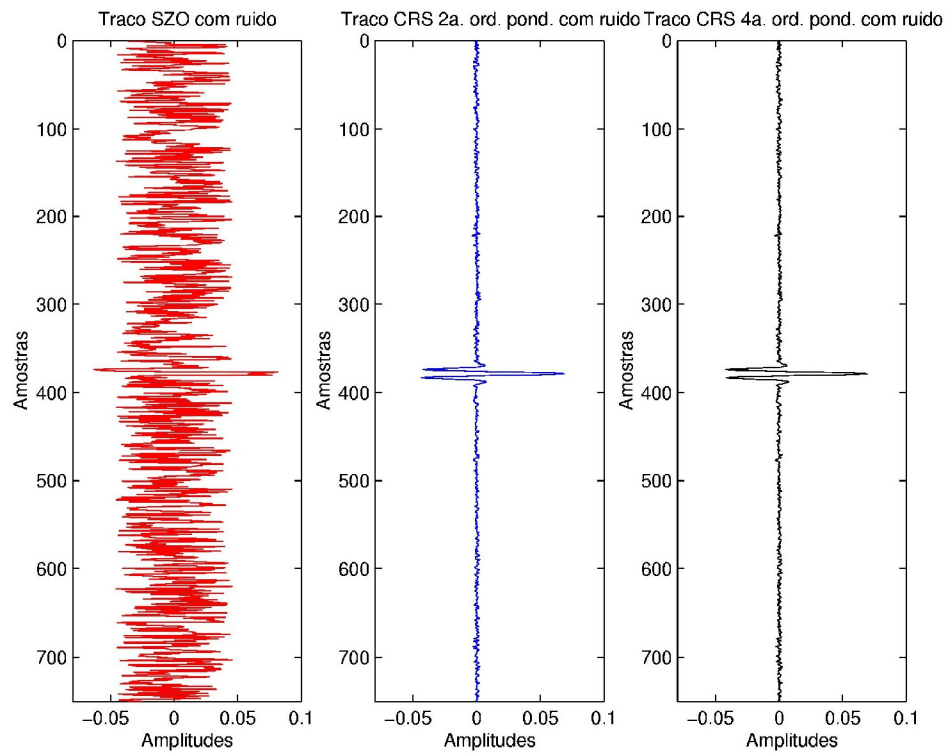
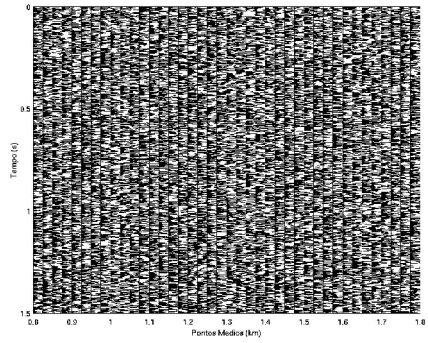
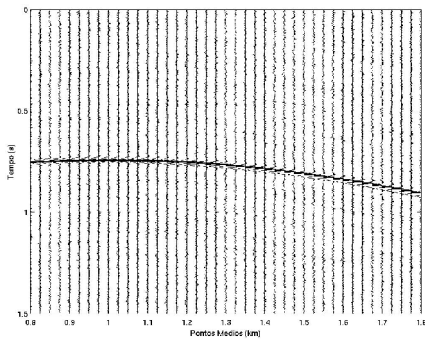


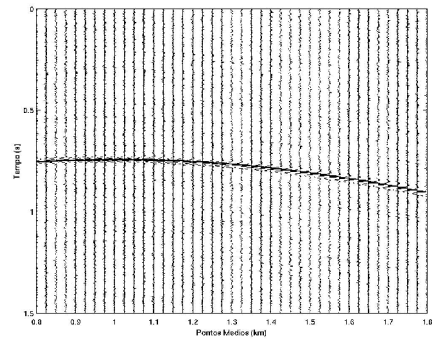
Figura 5.20 Comparação dos traços sísmicos empilhados, normalizados pelo número de traços (modelo da Figura 5.6) correspondentes à posição do raio normal (central) em $x_0=1.2$ km, da seção de afastamento nulo (SZO), seção empilhada CRS de 2ª e 4ª ordem.



a)



b)



c)

Figura 5.21 a) Seção ZO com ruído distribuído uniformemente para o modelo da Figura 5.6, sendo a relação sinal/ruído de $s/r=0.5$. b) Seção empilhada CRS de 2ª ordem a partir dos dados de cobertura múltipla com a relação $s/r=0.5$. c) Seção empilhada CRS de 4ª ordem a partir dos dados de cobertura múltipla com a relação $s/r=0.5$.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.
This page will not be added after purchasing Win2PDF.

6. CONCLUSÕES

São apresentadas a continuação:

-O empilhamento CRS é um método de imageamento sísmico independente do macro-modelo de velocidades dependendo de três parâmetros: o ângulo de emergência de raio normal, e as curvaturas das frentes de onda hipotéticas NIP e N, respectivamente.

-O operador CRS de 4ª ordem fornece, em geral, melhores aproximações dos tempos de trânsito para diferentes configurações que o operador CRS de 2ª ordem tanto para eventos de reflexão quanto para difração. Isto pode ser verificado no ajuste das aberturas de cada operador em relação ao tempo de trânsito verdadeiro.

-Para os diversos modelos testados, o operador de empilhamento CRS de 4ª ordem apresentou um desempenho tão bom, ou melhor, que o operador CRS de 2ª ordem na simulação de seções sísmicas do afastamento fonte-receptor nula. As diferenças são mínimas. Estas diferenças destacam para o caso de determinadas configurações sísmicas que pode ajudar na melhor recuperação dos parâmetros.

-Verificou-se que os traços sísmicos recuperados por ambos operadores CRS não preservam as amplitudes da forma original do traço. Este fato ocorre porque o método CRS não tem uma função para corrigir a amplitude.

-O operador CRS de 4ª ordem também apresentou um bom desempenho na simulação dos traços ZO quando os dados sintéticos apresentam ruídos. Observou-se que este operador elimina grande parte do ruído quanto o operador CRS de 2ª ordem.

-Desta maneira, apresenta-se o operador CRS de 4ª ordem como uma alternativa de empilhamento para simular seções ZO. Um fator atrativo desta fórmula é que depende dos mesmos parâmetros que o operador CRS de 2ª ordem.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERKOVITCH, A., KEYDAR, S., LANDA, E., TRACHTMAN, P. **Kinematic Multifocusing in Practice**. In: ANNUAL INT. MTG., 68. *Expanded abstracts*. Soc. Exp. Geophys, 1998.

BIRGIN, E. G., BILOTI, R., TYGEL, M., SANTOS, L.T. **Restricted optimization: a clue to a fast and accurate implementation of Common Reflection Surface method**. Journal Applied of Geophysics, 42: 143-155, 1999.

BLEISTEIN, N.; COHEN, J. K., HAGIN, F. G. **Two and one half dimensional Born inversion with an arbitrary reference**. Geophysics, 52, 26-36, 1987.

BORTFELD, R. **Geometrical ray theory: Rays and traveltimes in seismic system (second order approximation of the traveltimes)**. *Geophysics* 54: 342-349, 1989.

CERVENY, V. & PSENCIK, I. **SEIS88**, Ray Tracing Program package, 1988.

CERVENY, V. **Seismic Ray Theory**. Cambridge University Press, 2001.

CHIRA, P. **Imageamento Multifoco de Refletores Sísmicos**. Belém, Universidade Federal do Pará (Tese de Mestrado), 2000.

CHIRA, P. **Empilhamento pelo método de superfície de reflexão comum 2-D com topografia e introdução ao caso 3-D**. Belém, Universidade Federal do Pará (Tese de Doutorado), 2003.

De BAZELAIRE, E. **Kinematic Normal moveout revisited- Inhomogeneous media and curved interfaces**: Geophysics, 53, 143-157, 1988.

GARABITO CALLAPINO, G. **Empilhamento sísmico por superfície de reflexão comum**. Dissertação (Doutorado em Geofísica) – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém, 2001.

GELCHISNKY, B.; BERKOVITCH, A.; KEYDAR, S. **Multifocusing homeomorphic imaging: Parts I and II. Course notes. Special course on Homeomorphic Imagim**, Seeheim, Alemanha, 1997.

HÖCHT, G. **Common reflection surface stack**. Universidade de Karlsruhe (Alemanha), (Master's dissertation), 1998.

HÖCHT, G., DE BAZELAIRE, E., MAJER, P., HUBRAL, P., **Seismic and optics: hyperbolae and curvatures**. Journal Applied of Geophysics, 1999.

HUBRAL, P. **Computing true amplitude reflection in laterally inhomogeneous earth**. *Geophysics*, 48: 1051-1062, 1983.

HUBRAL, P.; SCHLEICHER, J.; TYGEL, M.; HANITZSCH, C. **Determination of fresnel zone from traveltme measurements**. *Geophysics*, 58:703-712, 1993.

HUBRAL, P. **Special Issue: Macromodel Independent Seimic Reflection Imaging**. Journal of Applied Geophysics, p. 42: 3,4, 1999.

JÄGER, R. **The common reflection surface stack: introduction and application**. Universidade de Karlsruhe (Alemanha), (Master's dissertation), 1999.

JÄGER, R.; MANN, J.; HÖCHT, G.; HUBRAL, P. **The common reflection surface stack: image and atributes**. *Geophysics*, 66: 97-109, 2001.

LANDA, E.; GUREVICH, B.; KEYDAR, S.; TRACHTMAN, P. **Kinematic Multifocusing Stack-a New Time Imaging Method**. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 6, artigo195, 1999.

MAJER, P. **Inversion of seismic parameters: determination of 2-D iso-velocity layer model** . Universidade de Karlsruhe (Alemanha), (Master's dissertation), 2000.

MÜLLER, T. **The common-reflection surface stack: seismic imaging without explicit knowledge of the velocity model.** Der Andere Verlag. Bad Iburg, 1999.

SCHLEICHER, J.; TYGEL, M.; HUBRAL, P. **Parabolic and hyperbolic paraxial two-point traveltimes in 3D media.** *Geophysical Prospecting*, v.41, p. 495-513, 1993.

TYGEL M., MÜLLER, T., HUBRAL, P., SCHLEICHER, J. **Eigenwave based multiparameter travelttime expansions.** In: ANNUAL INT. MTG., 67. Soc. Expl. Geophys., p. 1770-1773, 1997.

THORE, P. D., DE BAZELAIRE, E., RAY, M. P. **Three parameter equation: An efficient tool to enhance the stack.** *Geophysics*, 59(2): 297-308, 1994.

VIETH, K.-U. **Kinematic wavefield attributes in seismic imaging.** Universidade de Karlsruhe (Alemanha), (PhD thesis), 2001.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.
This page will not be added after purchasing Win2PDF.