



Mércia Betânia Costa e Silva

**Influência da anisotropia VTI na correção de sobretempo
normal em dados sísmicos e análise de velocidade por
gradiente descendente**

Tese de Doutorado

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil.

Orientadores: Sérgio Augusto Barreto da Fontoura
Carlos Rodriguez Suarez

Rio de Janeiro, agosto de 2005



Mércia Betânia Costa e Silva

Influência da anisotropia VTI na correção de sobretempo normal em dados sísmicos e análise de velocidade por gradiente descendente

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Sérgio Augusto Barreto da Fontoura

Orientador

Departamento de Engenharia Civil - PUC-Rio

Dr. Carlos Rodriguez Suarez

Co-Orientador

Petrobras

Dr. Eduardo Lopes de Faria

Cenpes/Petrobras

Dr. Djalma Manoel Soares Filho

Cenpes/Petrobras

Prof. Wilson Mouzer Figueiró

UFBA

Prof. Celso Romanel

Departamento de Engenharia Civil - PUC-Rio

Dr. Marco Antônio Cetale Santos

Departamento de Engenharia Elétrica - PUC-Rio

Prof. José Eugênio Leal

Coordenador(a) Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 29 de agosto de 2005

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, da autora e do orientador.

Mércia Betânia Costa e Silva

Graduou-se em Engenharia Elétrica com habilitação em Eletrônica pela UFPE em 1997, onde se interessou por processamento de sinais trabalhando para o grupo de Reconhecimento de Padrões da Universidade. Obteve título de Mestre em Ciências em Engenharia Elétrica (Processamento de Sinais) pela PUC-Rio em 1999 onde utilizou a transformada wavelet na remoção de ruído em dados sísmicos. Em seguida começou a trabalhar no Laboratório Computacional de Geociências (LCG-GTEP) da PUC-Rio onde atua juntamente com a indústria em projeto de pesquisas em Geofísica Aplicada com ênfase em processamento de dados sísmicos. Em 2001 iniciou o doutorado em Engenharia Civil nesta área de pesquisa, culminando no tema de tese aqui apresentado.

Ficha Catalográfica

Silva, Mércia Betânia Costa e

Influência da anisotropia VTI na correção do sobretempo normal em dados sísmicos e análise de velocidade por gradiente descendente / Mércia Betânia Costa e Silva ; orientadores: Sérgio Augusto Barreto da Fontoura, Carlos Rodriguez Suarez. – Rio de Janeiro : PUC-Rio, Departamento de Engenharia Civil, 2005.

159 f. : il. ; 30 cm

Tese (doutorado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil.

Inclui bibliografia

1. Engenharia Civil – Teses. 2. Processamento sísmico. 3. Correção de NMO. 4. Anisotropia VTI. 5. Análise de velocidade. 6. Gradiente descendente. 7. Estimativa de parâmetros de anisotropia. I. Fontoura, Sérgio Augusto Barreto da. II. Rodriguez Suarez, Carlos. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil. IV. Título.

CDD: 624

Aos próximos passos, e às idéias que sempre surgem
quando menos esperamos.

Agradecimentos

Aos meus orientadores: Prof. Sérgio Fontoura, por acreditar sempre em mim e no meu potencial e Dr. Carlos Rodriguez, pela dedicação e entusiasmo que sempre votou a mim e a este trabalho. Seus ensinamentos vão além de fundamentos técnicos, obrigada.

À minha família, em especial meus pais Vicente e Bernadete e minhas irmãs, pelo apoio e amor incondicional.

À minha irmã Marcia, por estar sempre presente em cada um dos meus momentos e dos meus humores, sempre me falando que tudo vai dar certo.

Aos colegas do GTEP PUC-Rio por todo auxílio direto e indireto na realização deste trabalho. Em especial: Jorge Pastor, Fredy Artola, Ricardo Leiderman, Olga Emília Linares, Luciana Conceição, Evania Santos e Ricardo Lira.

Aos companheiros de pós-graduação e freqüentadores “noturnos” do GTEP, pela força, pelas várias discussões técnicas e não-técnicas e pelos momentos de descontração na nossa pequena copa: Suzana Costa, Shelly Medeiros, Bruno Holzberg, Ewerton Araújo, Olga Carvajal e Nelly Rubio.

Aos amigos que estão longe e sempre torcem por mim, e aos amigos que estão perto e substituem a minha família: Obrigada pela força. Em especial a Suzana, Janaina, Pablo, Talles, Vanessa, Renato, Midori, Cris Sales, Maria Cristina, Dani Cunha e Cris Gameiro que estiveram mais próximos (me aturando) durante esse período.

Ao Prof. Carlos Eduardo Pedreira pelas discussões sobre gradiente descendente.

Ao colega e amigo Marco Antônio Cetale Santos, pelas discussões sobre a geofísica e sobre a vida, e pela ajuda com os experimentos de migração.

À Ana Roxo, secretária do departamento, ou melhor, “nossa mãe”. Obrigada por sempre estar ao nosso lado e por tornar os assuntos burocráticos mais simples para nós.

Ao Departamento de Engenharia Civil, por me dar esta oportunidade e aceitar uma pessoa que não tem formação inicial em geotecnia como aluna de doutorado.

Ao GTEP PUC-Rio, pelo apoio financeiro.

Resumo

Silva, Mércia Betânia Costa; Fontoura, Sérgio Augusto Barreto da; Suarez, Carlos Rodriguez. **Influência da anisotropia VTI na correção de sobretempo normal em dados sísmicos e análise de velocidade por gradiente descendente.** Rio de Janeiro, 2005. 159p. Tese de Doutorado - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Este trabalho quantifica o erro que se comete durante o processamento sísmico quando uma abordagem isotrópica é utilizada na análise de velocidade e correção de sobretempo normal (NMO) em dados anisotrópicos. Esta quantificação é realizada através da repetição do experimento de análise de velocidade em dados sísmicos sintéticos construídos a partir de um modelo geológico simples (porém realista) representando uma seqüência sedimentar típica de águas profundas com camadas horizontais onde uma delas é anisotrópica (VTI). A variação da anisotropia é conhecida e a diferença entre as velocidades NMO encontradas para cada modelo é quantificada. O resultado também é quantificado através da diferença na profundidade de uma camada resultante da conversão tempo-profundidade a partir da velocidade obtida no procedimento e mostra que, dependendo da anisotropia, o erro na velocidade (e/ou profundidade) por não se considerar anisotropia pode chegar a 10-15% para valores de anisotropia que são encontrados habitualmente na natureza. A análise desta quantificação também mostra que o parâmetro de anisotropia δ é muito mais influente sobre o erro da velocidade que o parâmetro ϵ e que a espessura da camada utilizada no experimento. Para complementar o trabalho, é verificada a melhor abordagem anisotrópica de correção de sobretempo normal para dados reais a partir de equações existentes na literatura, tanto para a correção de NMO quanto para a estimativa de parâmetros de anisotropia. A utilização de equações que incluem anisotropia permitem uma melhor correção do sobretempo normal e uma boa estimativa dos parâmetros de anisotropia ϵ e δ . Os parâmetros estimados foram utilizados em um algoritmo de migração para meio anisotrópico pré-empilhamento em profundidade e foi verificado que quando existe uma boa estimativa de δ , a profundidade migrada do refletor sofre uma distorção, desprezível em comparação à sua posição original. Em conjunto com este estudo, também é proposta uma técnica alternativa para análise de velocidade utilizando uma função de discriminantes lineares chamada gradiente descendente. Esta metodologia

permite adaptar várias equações de NMO e obter todos os parâmetros da equação de uma única vez (t_0 , V_{NMO} e η), diferentemente do método de coerência geralmente utilizado para realizar análise de velocidade e que só permite a obtenção de dois parâmetros ao mesmo tempo (t_0 e V_{NMO}), tornando necessária uma segunda análise de velocidade. O método do gradiente descendente proposto neste trabalho foi testado para quatro funções de sobretempo normal com dados sintéticos e um dado real e foi considerado rápido, robusto e eficiente.

Palavras-chave

Processamento sísmico; Correção de NMO; Anisotropia VTI; Análise de velocidade; Gradiente descendente; Estimativa de parâmetros de anisotropia.

Abstract

Silva, Mércia Betânia Costa; Fontoura, Sérgio Augusto Barreto da (Advisor); Suarez, Carlos Rodriguez (Advisor). **Anisotropy influence on normal moveout correction in VTI seismic data and velocity analysis using gradient descendent.** Rio de Janeiro, 2005. 159p. Tese de Doutorado - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This work quantifies the error created during seismic processing when isotropic approach is used to normal moveout correction and velocity analysis and the seismic data is anisotropic. This quantification is made by performing velocity analysis in several synthetic seismograms built from a simple (but realistic) geological model with some horizontal layers, one of them being anisotropic (VTI), representing a common deep water sedimentary sequence. The anisotropy in the model is known and the difference between the NMO velocities found by seismic processing (semblance analysis) is quantified for each model. The result is also shown through the difference in depth obtained from time-depth conversion with NMO velocity. Depending on the anisotropic degree, the velocity (and/or depth) error produced when the anisotropy is not considered can be up to 10-15% for anisotropic values commonly found in nature. This quantification analysis also concludes that δ parameter influences more on velocity error than ϵ parameter and layer depth. To complement this work, the best anisotropic approach for normal moveout correction to be used in real data is investigated, by comparing some NMO functions found in technical papers, analyzing the data correction and the parameter estimation. The usage of NMO equation with anisotropic approach in anisotropic seismic data allows a better normal moveout correction and the anisotropic parameters (ϵ and δ) can be estimated from velocity analysis. The estimated anisotropic parameters were applied in a pre-stack anisotropic depth migration algorithm and it was verified that when δ is well estimated, the migrated position of a seismic reflector is not very distorted from its real position. It is also proposed in this Thesis one alternate technique for velocity analysis using one linear discriminant function called gradient descendent. This methodology allows adopting several normal moveout functions and obtaining all the equation parameters (t_0 , V_{NMO} and η) at once, differently from semblance method used in conventional velocity analysis that only allows obtaining two parameters at the same time (t_0 and V_{NMO}), which requires a second

velocity analysis to obtain all equation parameters. The proposed gradient descent method was tested with four NMO equations and it was shown to be fast, robust and efficient.

Keywords

Seismic processing; NMO correction; VTI anisotropy; Velocity analysis; Gradient descent; Parameter estimation.

Sumário

1	Introdução	22
2	Revisão bibliográfica	27
2.1.	Teoria da elasticidade e tensores elásticos para meios anisotrópicos	27
2.1.1.	Isotropia	29
2.1.2.	Simetria VTI	30
2.1.3.	Simetria HTI	31
2.1.4.	Simetria ortorrômbica	32
2.1.5.	Simetria Monoclínica	32
2.2.	Propagação de onda em meios anisotrópicos	33
2.3.	Aproximações dos parâmetros dos tensores elásticos	36
2.4.	Processamento de dados sísmicos em meios anisotrópicos	39
2.4.1.	Equações de tempo de trânsito e de sobretempo normal	41
2.4.2.	Efeitos da anisotropia nos dados sísmicos	51
2.5.	Obtenção de parâmetros de anisotropia	53
2.6.	Aproximação do traçado de raio	55
2.7.	Geração de meios equivalentes – meios efetivos	56
3	Processamento de dados anisotrópicos com abordagem isotrópica	61
3.1.	Criação do modelo geológico e da sísmica sintética	61
3.2.	Processamento sísmico realizado	65
3.3.	Processamento em dado sintético	71
3.3.1.	Modelo 1 – Águas profundas	73
3.3.2.	Modelo 2 – Águas ultra-profundas	81
3.3.3.	Modelo 3 – Águas ultra-profundas e camada anisotrópica muito espessa	85
3.3.4.	Comparações dos três modelos processados	87
3.4.	Conclusões e comentários	91
4	Metodologia e resultados preliminares para análise de velocidade	

utilizando o gradiente descendente	93
4.1. Funções discriminantes lineares	94
4.1.1. Método do gradiente descendente	95
4.2. Equações de NMO adaptadas ao gradiente descendente	96
4.3. Exemplos com dados sintéticos	99
4.3.1. Dados sintéticos - eventos	99
4.3.2. Dados sintéticos - sismograma	103
4.4. Exemplo com dado real	105
4.5. Conclusões e comentários	109
5 Processamento de dados anisotrópicos com abordagem anisotrópica	111
5.1. Equações de NMO para anisotropia VTI	111
5.2. Processamento de dados e estimativa de parâmetros de anisotropia	113
5.2.1. Processamento de dados com abordagem anisotrópica	113
5.2.2. Estimativa de parâmetros de anisotropia	118
5.3. Aplicação dos parâmetros estimados em algoritmo de migração	126
5.4. Conclusões e comentários	141
6 Conclusões e comentários	143
7 Bibliografia	146
Apêndice A	153

Lista de figuras

Figura 1: Relação tensão – deformação.	28
Figura 2: Esquema para a simetria VTI, onde x_3 é o plano vertical (extraído de Kuhnel, 1998).	30
Figura 3: Esquema para a simetria HTI, onde x_2 é o plano vertical (extraído de Kuhnel, 1998)	31
Figura 4: Esquema para a simetria ortorrômbica (Extraído de Kuhnel, 1998).	32
Figura 5: Ilustração de correções dos traços através do processamento (extraído de Sheriff & Gerdart, 1995).	40
Figura 6: Configuração de fonte (F)-receptor (R) para uma camada horizontal.	41
Figura 7: Ilustração de correção de NMO para uma camada homogênea isotrópica e horizontal modelada com traçado de raio: (a) família de traços CMP original e (b) mesma família de CMP com correção de NMO aplicado.	42
Figura 8: Configuração de fonte-receptor para várias camadas horizontais.	44
Figura 9: O arranjo CMP não funciona quando a interface tem inclinação, (extraído de Liner (1999).	44
Figura 10: Comparação entre a hipérbole proposta por Dix (curva da esquerda) e a hipérbole proposta por Castle (curva da direita), (adaptado de Castle, 1994).	45
onde X é o afastamento entre fonte e receptor, $A_0 = t_0^2$, $A_2 = \frac{\partial(t^2)}{\partial(X^2)} \Big _{X=0}$	e4t
Figura 11: Análise de coerência ou <i>semblance</i> para um sismograma com dois eventos. O primeiro evento está em aproximadamente 0,66s e o segundo evento está aproximadamente em 1,36s.	47
Figura 12: Exemplo de estiramento (<i>stretching</i>) após a correção de NMO em modelo com dois eventos.	47
Figura 13: Agrupamentos de CMPs com vários azimutes em um mesmo	

CMP (extraído de Grechka & Tsvankin, 1998b).	50
Figura 14: Reconstrução da componente de onda SS a partir de componentes de onda PP (compressional) e PS (convertida), (extraído de Grechka & Tsvankin, 2002b).	54
Figura 15 Esquema de fratura com comportamento (a) monoclinico e (b) ortorrômbico (extraído de Schoenberg & Douma, 1988).	58
Figura 16: Modelo utilizado para a geração dos dados sintéticos com o <i>anray</i> . As propriedades dos meios anisotrópicos e as espessuras das camadas variam com o experimento.	62
Figura 17: Geometria de aquisição do dado sintético. A estrela representa a fonte e os losângos representam os receptores.	63
Figura 18: Sismograma sintético no domínio do tiro em um modelo isotrópico onde $d_1=500\text{m}$ (fundo do mar) e $d_2=1000\text{m}$ (topo do reservatório), com ganho automático (em inglês <i>Automatic Gain Control</i> ou AGC) aplicado com janela de 120ms para melhor visualização.	64
Figura 19: Pulso sísmico a partir do pulso de Gabor e seu espectro de amplitude.	65
Figura 20: Agrupamento do dado sintético em CMP após todos os tiros disparados com ganho (janela de 120ms) automático aplicado.	65
Figura 21: Análise de coerência através da curva de <i>semblance</i> em uma abordagem isotrópica. Observa-se dois valores de velocidade onde existe grande coerência: O valor aproximado de 1,5km/s no tempo aproximado de 0,7s (correspondente ao fundo do mar) e o valor aproximado de 2,3km/s no tempo aproximado de 1,35s (correspondente ao topo do reservatório).	67
Figura 22: Análise de coerência para o parâmetro de anisotropia η através da curva de <i>semblance</i> realizada no dado gerado a partir de modelo isotrópico. Observa-se que as regiões de maior coerência encontram-se próximo de zero no tempo aproximado de 0,7s (correspondente ao fundo do mar) e no tempo aproximado de 1,35s (correspondente ao topo do reservatório). Os marcadores “o” e “*” são marcadores auxiliares ao gráfico.	68
Figura 23: CMP da Figura 20 após a correção de sobretempo normal	

- (NMO) com a velocidade encontrada a partir da análise de *semblance* em uma abordagem isotrópica no dado isotrópico. 69
- Figura 24: CMP da Figura 23 com silenciamento externo para retirar os ruídos provocados pelo estiramento. 69
- Figura 25: Seção sísmica empilhada com ganho automático (AGC, janela de 120ms) aplicado. 70
- Figura 26: Gráfico de V_{RMS} para o Modelo 1 dos testes com ε constante em 0,2 e δ variável. A curva da esquerda refere-se ao gráfico em tempo e a curva da direita é o mesmo gráfico em profundidade. 74
- Figura 27: Gráfico mostrando a localização dos dois eventos modelados para o Modelo 1 nos testes com ε constante em 0,2 e δ variável. A curva da esquerda refere-se ao gráfico em tempo e a curva da direita é o mesmo gráfico em profundidade. 75
- Figura 28: Curva de erro percentual de V_{RMS2} para as várias simulações de ε (curvas) e δ (eixo horizontal) para o Modelo 1. 77
- Figura 29: Curva de erro percentual de V_{RMS2} para as várias simulações de δ (curvas) e ε (eixo horizontal) para o Modelo 1 (águas profundas). 78
- Figura 30: Gráfico de V_{RMS} para o Modelo 1 dos testes com δ constante em -0,2 e ε variável. A curva da esquerda refere-se ao gráfico em tempo e a curva da direita é o mesmo gráfico em profundidade. 78
- Figura 31: Gráfico mostrando a localização dos dois eventos modelados para o Modelo 1 nos testes com δ constante em 0,2 e ε variável. A curva da esquerda refere-se ao gráfico em tempo e a curva da direita é o mesmo gráfico em profundidade. 79
- Figura 32: Gráfico em três dimensões para o Modelo1 mostrando a variação do erro em V_{RMS2} com ε e δ . 80
- Figura 33: Visão na dimensão ε - δ do gráfico 3D para o Modelo1 da variação do erro em V_{RMS2} . 81
- Figura 34: Curva de erro percentual de V_{RMS2} para as várias simulações de ε (curvas) e δ (eixo horizontal) para o Modelo 2 (águas ultra-profundas). 82
- Figura 35: Curva de erro percentual de V_{RMS2} para as várias simulações de δ (curvas) e ε (eixo horizontal) para o Modelo 2. 82

Figura 36: Gráfico em três dimensões para o Modelo2 mostrando a variação do erro em V_{RMS2} com ε e δ .	84
Figura 37: Visão na dimensão $\varepsilon - \delta$ do gráfico 3D para o Modelo2 da variação do erro em V_{RMS2} .	84
Figura 38: Gráfico em três dimensões para o Modelo3 mostrando a variação do erro em V_{RMS2} com ε e δ .	86
Figura 39: Visão na dimensão $\varepsilon - \delta$ do gráfico 3D para o Modelo3 da variação do erro em V_{RMS2} .	87
Figura 40: Gráficos da variação de V_{rms} com δ para ε constante: Curvas dos Modelos 1 (águas profundas), 2 (águas ultra-profundas) e 3 (águas ultra-profundas com camada anisotrópica espessa).	88
Figura 41: Gráficos da variação de V_{rms} com ε para δ constante: Curvas dos Modelos 1 (águas profundas), 2 (águas ultra-profundas) e 3 (águas ultra-profundas com camada anisotrópica espessa).	90
Figura 42: Evento sintético com 200 pontos utilizado para testes do gradiente descendente. Curva azul: original sem ruído; pontos vermelhos: original com ruído de até 10% na picagem (<i>picking</i>). Em detalhe, <i>zoom</i> de parte do gráfico mostrando os desvios.	100
Figura 43: : Evento sintético com 10 pontos utilizado para testes do gradiente descendente. Curva azul: original sem ruído; pontos vermelhos: original com ruído de até 10% na picagem (<i>picking</i>). Em detalhe, <i>zoom</i> de parte do gráfico mostrando os desvios.	100
Figura 44: Sismograma sintético utilizado no teste.	104
Figura 45: Seleção de eventos (curvas em vermelho) para entrada do gradiente descendente.	104
Figura 46: CMPs utilizados na análise de velocidade via gradiente descendente	106
Figura 47: Marcação dos eventos nos CMPs para entrada do método do gradiente descendente.	107
Figura 48: Função de velocidade RMS obtida no dado a partir do método convencional de análise de velocidade.	108
Figura 49: Função de velocidade RMS obtida no dado a partir do método gradiente descendente.	108

Figura 50: Comparação das sessões sísmicas empilhadas com a função de velocidade obtida pelo método convencional (esquerda) e pelo gradiente descendente (direita).	109
Figura 51: Sismograma de um modelo anisotrópico com afastamento máximo de 2,60km. A curva azul é o evento de entrada do método gradiente descendente.	114
Figura 52: Correção de sobretempo normal de modelo anisotrópico com processamento isotrópico.	114
Figura 53: Correção de sobretempo normal de modelo anisotrópico com processamento para um meio anisotrópico.	115
Figura 54 Verificação da convergência do gradiente descendente comparado com o evento sísmico.	115
Figura 55: Sismograma de um modelo anisotrópico com afastamento máximo de 5km. A curva azul é o evento de entrada do gradiente descendente.	116
Figura 56: Correção de sobretempo normal de modelo anisotrópico com processamento isotrópico.	116
Figura 57: Correção de sobretempo normal de modelo anisotrópico com processamento anisotrópico.	117
Figura 58: Verificação da convergência do gradiente descendente comparado com o evento sísmico.	117
Figura 59: Verificação visual da convergência do gradiente descendente aplicado à Eq. 58 (VTI geral), para o caso onde $\varepsilon = 0,15$ e $\delta = 0,05$.	125
Figura 60: Verificação da convergência do gradiente descendente aplicado à Eq. 57 (Castle) para o caso onde $\varepsilon = 0,15$ e $\delta = 0,05$.	126
Figura 61: Modelo geológico utilizado para teste de migração pré-empilhamento em profundidade.	128
Figura 62: Eventos para análise de velocidade utilizando gradiente descendente. O sismograma da esquerda corresponde ao CMP na posição 300 (0,75km) e o sismograma da direita corresponde ao CMP na posição 900 (2,25km) no modelo da Figura 61.	129
Figura 63: Migração do tiro na posição 300. A imagem da esquerda é o tiro migrado com os parâmetros de anisotropia corretos e a imagem da	

- direita é o tiro migrado com os parâmetros de anisotropia estimados. 130
- Figura 64: Seção resultante da subtração dos dois sismogramas da Figura 63. 130
- Figura 65: Detalhe na migração do tiro na posição 300. A imagem superior é o tiro migrado com os parâmetros de anisotropia corretos ($\varepsilon = 0,2$ e $\delta = 0,05$) e a imagem inferior é o tiro migrado com os parâmetros de anisotropia estimados ($\varepsilon = 0,114$ e $\delta = 0,048$). As setas vermelhas mostram pequenas diferenças na posição e na amplitude das duas imagens. 131
- Figura 66: Migração isotrópica do tiro 300. 132
- Figura 67: Detalhes da posição do refletor na migração isotrópica do tiro 300. A curva superior mostra um evento próximo da posição do tiro e a curva inferior mostra um evento mais afastado da posição do tiro. As setas vermelhas mostram a posição em profundidade do evento. 132
- Figura 68: Migração do tiro na posição 900. A imagem da esquerda é o tiro migrado com os parâmetros de anisotropia corretos e a imagem da direita é o tiro migrado com os parâmetros de anisotropia estimados 133
- Figura 69: Detalhe na migração do tiro na posição 900. A imagem superior é o tiro migrado com os parâmetros de anisotropia corretos e a imagem inferior é o tiro migrado com os parâmetros de anisotropia estimados 133
- Figura 70: Comparação de amplitude nos eventos migrados (tiro 900) através de um traço sísmico. A curva azul é um traço migrado com os parâmetros de anisotropia corretos e a curva vermelha é o traço migrado com os parâmetros estimados. 134
- Figura 71: Modelo geológico com afastamento máximo de 6km (amostra 50) utilizado para teste de migração pré-empilhamento. 135
- Figura 72: Migração do tiro indicado na Figura 71: Migração anisotrópica com parâmetros corretos (imagem da esquerda) e migração anisotrópica com parâmetros estimados (imagem da direita). 136
- Figura 73: Diferença entre as imagens migradas com o parâmetro correto e estimado. O detalhe em azul mostra a posição da primeira interface. 137
- Figura 74: Comparação do evento abaixo da camada anisotrópica migrado com os parâmetros corretos (imagem superior), com os

parâmetros estimados (imagem do centro) e a diferença entre as duas imagem (imagem inferior).	138
Figura 75: Migração do tiro da Figura 71: Migração anisotrópica com parâmetros corretos (imagem da esquerda) e migração anisotrópica com parâmetros estimados do modelo anterior (imagem da direita).	139
Figura 76: Comparação do evento abaixo da camada anisotrópica migrado com os parâmetros corretos (imagem superior), com os parâmetros estimados do modelo anterior (imagem do centro) e a diferença entre as duas imagem (imagem inferior).	139
Figura 77: Migração do tiro da Figura 71: Migração anisotrópica (imagem da esquerda) e migração isotrópica (imagem da direita).	140
Figura 78: Comparação do evento abaixo da camada anisotrópica migrado com o algoritmo anisotrópico (imagem superior), com o algoritmo isotrópico (imagem do centro) e a diferença entre as duas imagem (imagem inferior).	140

Lista de tabelas

Tabela 1: Propriedades do modelo da Figura 16.	63
Tabela 2: Comparação dos resultados para o Modelo1 (águas profundas), com $\varepsilon = 0,2$.	75
Tabela 3: Comparação dos resultados para o Modelo1, com $\varepsilon = 0,1$.	76
Tabela 4: Comparação dos resultados para o Modelo 1, com $\delta = -0,2$.	79
Tabela 5: Comparação dos resultados para o Modelo2, com $\varepsilon = 0,2$.	83
Tabela 6: Comparação dos resultados para o Modelo3, com $\varepsilon = 0,2$.	86
Tabela 7: Resultados de simulações para Eq. 52.	101
Tabela 8: Resultados de simulações para Eq. 55.	102
Tabela 9: Resultados de simulações para Eq. 57.	103
Tabela 10: Tabela de resultados da estimativa do evento marcado na Figura 45. *Valor calculado utilizando a equação de Dix (Dix, 1955) para modelo isotrópico.	105
Tabela 11: Estimativa de parâmetros de anisotropia, resultados para $\varepsilon = -0,2$.	119
Tabela 12: Estimativa de parâmetros de anisotropia, resultados para $\varepsilon = -0,15$.	120
Tabela 13: Estimativa de parâmetros de anisotropia, resultados para $\varepsilon = -0,1$.	120
Tabela 14: Estimativa de parâmetros de anisotropia, resultados para $\varepsilon = -0,05$.	121
Tabela 15: Estimativa de parâmetros de anisotropia, resultados para $\varepsilon = 0$.	121
Tabela 16: Estimativa de parâmetros de anisotropia, resultados para $\varepsilon = 0,05$.	122
Tabela 17: Estimativa de parâmetros de anisotropia, resultados para $\varepsilon = 0,1$.	122
Tabela 18: Estimativa de parâmetros de anisotropia, resultados para	

$\varepsilon = 0,15$.	123
Tabela 19: Estimativa de parâmetros de anisotropia, resultados para $\varepsilon = 0,2$.	123
Tabela 20: Resultado da estimativa dos parâmetros de anisotropia através da análise de velocidade via gradiente descendente.	129
Tabela 21: Resultado da estimativa dos parâmetros de anisotropia para o segundo modelo de migração através da análise de velocidade por gradiente descendente.	136

We can imagine that this complicated array of moving things which constitutes "the world" is something like a great chess game being played by the gods, and we are observers of the game. We do not know what the rules of the game are; all we are allowed to do is to watch the playing. Of course, if we watch long enough, we may eventually catch on to a few of the rules.

Richard P. Feynman