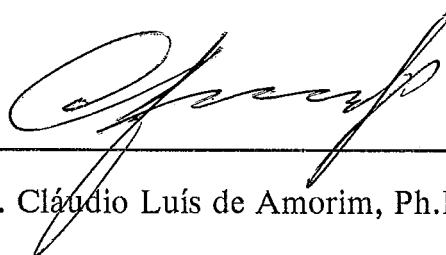


INVESTIGAÇÃO DE PARALELISMO NA MIGRAÇÃO ω -X

Silvio Sinedino Pinheiro

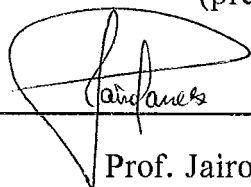
TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE SISTEMAS E COMPUTAÇÃO.

Aprovada por:

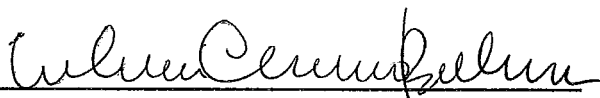


Prof. Cláudio Luís de Amorim, Ph.D.

(presidente)



Prof. Jairo Panetta, Ph.D.



Prof. Valmir Carneiro Barbosa, Ph.D.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

OUTUBRO DE 1993

PINHEIRO, SILVIO SINEDINO

Investigação de paralelismo na migração ω -x [Rio de Janeiro] 1993,

XI, 91 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc.,

Engenharia de Sistemas e Computação, 1993)

Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE

1. Processamento Paralelo 2. Processamento Sísmico

3. Migração (sísmica)

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

"Vivendo se aprende; mas o que se aprende, mais, é só a fazer outras maiores perguntas."

Guimarães Rosa

Para

Ana e meus filhotes Raul, Letícia e Bárbara.

AGRADECIMENTOS

À PETROBRÁS por ter possibilitado este mestrado e pelo suporte operacional a este trabalho.

A todos os companheiros de trabalho pelo apoio recebido, entre os quais destaco: Amaral, Anselmo, Beth, Bia, Celso, Chaia, Credilson, Francis, Gilberto, Haroldo, Ismael, Ivan, Joaquim, José Eduardo, Luiz Alberto, Márcia, Marcos, Mônica, Paulo Osório, Valdirene e Vandemir.

Aos amigos da minha turma da COPPE/Sistemas pela camaradagem, especialmente Evande, Nalvo, Nahri, Paulo, Raquel, Valério e Vitória.

Ao pessoal administrativo da COPPE/Sistemas pelo apoio, especialmente à Ana Paula.

À Profa. Lúcia Drummond (UFF) pela eficiência e simpatia.

Ao Prof. Jairo Panetta pela dedicação na orientação.

À minha mãe pelo esforço e obstinação.

À minha querida Ana pela força, carinho e compreensão, sempre.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

INVESTIGAÇÃO DE PARALELISMO NA MIGRAÇÃO ω -X

Silvio Sinedino Pinheiro

OUTUBRO DE 1993

Orientadores: Cláudio Luís de Amorim

Jairo Panetta

Programa: Engenharia de Sistemas e Computação

A prospecção de petróleo através da sísmica de reflexão exige um processamento computacional muito intenso. Com o surgimento das primeiras máquinas paralelas comerciais é de grande interesse saber da viabilidade do uso de paralelismo no processamento sísmico.

Este trabalho tem como motivação básica ajudar a responder esta dúvida. Para isto escolheu-se um processo representativo da complexidade computacional do processamento sísmico que é a Migração Sísmica.

Foram desenvolvidas duas formas de paralelização para a migração ω -x que foram experimentadas em máquinas paralelas de memória distribuída, de memória central e em rede de estações trabalhando como uma máquina paralela.

Após a análise dos resultados obtidos nos experimentos conclui-se pela viabilidade do paralelismo no processamento sísmico e ressalta-se a coerência destes resultados com trabalhos correlatos recentes.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as partial fulfilment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

INVESTIGATION OF PARALLELISM IN ω -X MIGRATION

Silvio Sinedino Pinheiro

OCTOBER, 1993

Thesis Supervisors: Cláudio Luís de Amorim

Jairo Panetta

Department: Computing and Systems Engineering

Oil prospection using the seismic reflection method demands intense computational effort. With the appearance of commercial parallel machines it is important to know about the viability of using parallelism in seismic processing.

The basic motivation of this work is to help clarify this doubt. To that end the seismic migration algorithm was chosen as representative of the computational complexity of the seismic processing.

Two forms of parallelism were developed for the ω -x migration and tested in parallel machines with distributed memory, central memory and a cluster of workstations working as a parallel machine.

The analysis of the results obtained in the experiments lead to the conclusion of the viability of the use of parallelism in seismic processing. This conclusion is in accordance with recent related works.

Índice

Lista das Ilustrações	ix
Lista das Tabelas	x
Capítulo 1 - Introdução	1
Capítulo 2 - Sumário do Método Sísmico de Reflexão	4
2.1 - A Aquisição Sísmica	4
2.2 - O Processamento Sísmico	9
2.2.1- Demultiplexação	10
2.2.2- Correção de Decaimento de Amplitude	10
2.2.3- Correção dinâmica	12
2.2.4- Análise de Velocidades	13
2.2.5- Correção Estática	13
2.2.6- Empilhamento	15
2.2.7- Migração Sísmica	15
Capítulo 3 - A Migração Sísmica	16
3.1 - O que é a Migração	16
3.2 - O Impacto da Migração	16
3.3 - Métodos de Migração	23
3.3.1 - Formulação Matemática	23
3.3.2 - Migração Phase-Shift	25
3.3.3 - Migração W-X	27
Capítulo 4 - Paralelismo na Migração W-X	35
4.1 - Alguns Fatos sobre a Implementação	35
4.2 - Análise da Complexidade do Algoritmo	37
4.3 - Dependências nos Laços Centrais	38
4.4 - Formas de Paralelismo	40
4.5 - Análise da Complexidade das Formas de Paralelismo	42
4.5.1 - Análise da Complexidade da Primeira Forma	42
4.5.2 - Análise da Complexidade da Segunda Forma	43
Capítulo 5 - Experimentos e Resultados em Máquinas Hiper-cúbicas	46
5.1 - Primeira Forma de Paralelização	46

5.1.1 - Descrição da Implementação	46
5.1.2 - Descrição dos Experimentos	47
5.1.3 - Apresentação e Análise de Resultados no INTEL/iPSC	47
5.1.4 - Apresentação e Análise de Resultados no NCP I/COPPE	51
5.2 - Segunda Forma de Paralelização	55
5.2.1 - Descrição da Implementação	55
5.2.2 - Descrição dos Experimentos	56
5.2.3 - Apresentação e Análise de Resultados no INTEL/iPSC	56
5.3 - Conclusões	57
Capítulo 6 - Experimentos e Resultados em Máquinas de Memória Central	59
6.1 - Primeira Forma de Paralelização	59
6.1.1 - Descrição da Implementação	59
6.1.2 - Descrição dos Experimentos	60
6.1.3 - Apresentação e Análise dos Resultados para o IBM 3090	60
6.1.4 - Apresentação e Análise dos Resultados para o IBM 9021	63
6.2 - Segunda Forma de Paralelização	66
6.2.1 - Descrição da Implementação	66
6.2.2 - Apresentação e Análise dos Resultados para o IBM 9021	67
6.3 - Terceira Forma de Paralelização	68
6.3.1 - Descrição da Implementação	68
6.3.2 - Apresentação e Análise dos Resultados para o IBM 9021	68
6.4 - Conclusões	70
Capítulo 7 - Experimentos e Resultados em Rede de Estações	71
7.1 - Primeira Forma de Paralelização	73
7.1.1 - Descrição da Implementação	73
7.1.2 - Descrição dos Experimentos	73
7.1.3 - Apresentação e Análise de Resultados na Rede RS-6000/PVM	74
7.1.4 - Expressão Analítica para o Tempo de Execução	76
7.1.5 - Calibração e Validação	79
7.1.6 - Extremos	80
7.2 - Segunda Forma de Paralelização	82
7.2.1 - Descrição da Implementação	82
7.2.2 - Descrição dos Experimentos	82
7.2.3 - Apresentação e Análise de Resultados na Rede RS-6000/PVM	82
7.3 - Conclusões	85
Capítulo 8 - Conclusões e Futuros Trabalhos	87
Referências Bibliográficas	90

Lista das Ilustrações

Figura 1. Disposição das fontes e receptores	5
Figura 2. Cobertura CMP	6
Figura 3. Reflexões em camadas horizontais	7
Figura 4. Reflexões em camadas mergulhantes	7
Figura 5. Reflexões sísmicas em lanço split	8
Figura 6. Sismograma antes do ganho AGC	11
Figura 7. Sismograma após ganho AGC	11
Figura 8. Sismograma antes da correção dinâmica	12
Figura 9. Sismograma após a correção dinâmica	13
Figura 10. Efeito da correção estática	14
Figura 11. Efeito da migração sísmica	15
Figura 12. Frente de onda no espaço	17
Figura 13. Campo de onda no modelo do refletor explosivo	18
Figura 14. Relação entre mergulhos	19
Figura 15. Princípios de Migração	20
Figura 16. Variação de posição com a migração	22

Lista das Tabelas

Tabela	3.1	Deslocamento horizontal e vertical	23
Tabela	4.1	Tempos de execução seqüencial	36
Tabela	4.2	Tempos percentuais de execução	36
Tabela	4.3	Comportamento dos tempos de execução	38
Tabela	5.1	INTEL/iPSC - Tempos de execução c/ 1 proc.	48
Tabela	5.2	INTEL/iPSC - Tempos de execução c/ 4 procs.	49
Tabela	5.3	INTEL/iPSC - Ganhos com 4 procs.	49
Tabela	5.4	INTEL/iPSC - Tempos de execução c/ 8 procs.	50
Tabela	5.5	INTEL/iPSC - Ganhos com 8 procs.	50
Tabela	5.6	NCP I/COPPE - Tempos de execução c/ 1 proc.	51
Tabela	5.7	NCP I/COPPE - Tempos de execução c/ 4 procs.	52
Tabela	5.8	NCP I/COPPE - Ganhos com 4 procs.	53
Tabela	5.9	NCP I/COPPE - Tempos de execução c/ 8 procs.	54
Tabela	5.10	NCP I/COPPE - Ganhos com 8 procs.	54
Tabela	5.11	INTEL/iPSC - Tempos de execução c/ 8 procs.	56
Tabela	5.12	INTEL/iPSC - Ganhos com 8 procs. (forma 2)	57
Tabela	6.1	IBM 3090 - Tempos de execução (forma 1)	61
Tabela	6.2	IBM 3090 - Ganhos com a forma 1	61
Tabela	6.3	IBM 3090 - Ganhos com a forma 1a	62
Tabela	6.4	IBM 3090 - Ganhos com a forma 1b	62
Tabela	6.5	IBM 9021 - Tempos de execução (forma 1)	63
Tabela	6.6	IBM 9021 - Ganhos com a forma 1	64
Tabela	6.7	IBM 9021 - Ganhos com a forma 1a	65
Tabela	6.8	IBM 9021 - Ganhos com a forma 1b	65
Tabela	6.9	IBM 9021 - Tempos de execução (forma 2)	67
Tabela	6.10	IBM 9021 - Ganhos com a forma 2	67
Tabela	6.11	IBM 9021 - Tempos de execução (forma 3)	69
Tabela	6.12	IBM 9021 - Ganhos com a forma 3	69
Tabela	7.1	RS-6000 - Tempos de execução (exceções)	72
Tabela	7.2	RS-6000 - Tempos de execução seqüencial	72
Tabela	7.3	RS-6000 - Tempos de execução c/ 4 ests.	74
Tabela	7.4	RS-6000 - Ganhos com 4 ests.	74
Tabela	7.5	RS-6000 - Tempos de execução c/ 6 ests.	75
Tabela	7.6	RS-6000 - Ganhos com 6 ests.	75
Tabela	7.7	RS-6000 - Composição percentual instrumentada	76
Tabela	7.8	RS-6000 - Tempos medidos X previstos	79
Tabela	7.9	RS-6000 - Distribuição tempos processamento	80
Tabela	7.10	RS-6000 - Número procs X ganho ótimo	81
Tabela	7.11	RS-6000 - Tempos de execução c/ 4 ests.	83
Tabela	7.12	RS-6000 - Ganhos com 4 ests. (forma2)	83

Tabela 7.13	RS-6000 - Tempos de execução c/ 6 ests.	84
Tabela 7.14	RS-6000 - Ganhos com 6 ests. (forma2)	84
Tabela 7.15	RS-6000 - Composição percentual execução	85
Tabela 8.1	RS-6000 - Hierarquia capacidade computacional	88

Capítulo 1 - Introdução

Na fase inicial da prospecção do petróleo procura-se definir os melhores locais para a perfuração dos poços. Isto exige um conhecimento profundo da disposição das camadas geológicas em subsuperfície, na área de interesse.

O conhecimento preciso da geologia de uma bacia sedimentar só é possível através da perfuração de poços. Entretanto isto é extremamente caro. Assim, torna-se necessária a utilização de outros métodos mais baratos, sem comprometer o objetivo final de indicar o posicionamento correto das estruturas mais favoráveis à ocorrência de óleo.

Para isto são utilizados os chamados métodos indiretos de prospecção geofísica como a gravimetria, a magnetometria e a sísmica de reflexão. Dentre eles destaca-se o Método Sísmico de Reflexão. Este método compreende três etapas: Aquisição, Processamento e Interpretação.

Na Aquisição Sísmica são geradas, na superfície, ondas acústicas que se propagam nas camadas em subsuperfície. Ao encontrar um meio com características petrofísicas diferentes (litologia, densidade, velocidade de propagação) parte da energia é refletida e o restante é refratada. A energia refletida é captada na superfície por dispositivos especiais e é gravada digitalmente em meio magnético.

O processo de construção de imagens representativas da geologia em subsuperfície a partir destes dados se dá através da aplicação de diversos processos computacionais, constituindo o que é conhecido como Processamento Sísmico.

O Processamento Sísmico, apesar de largamente utilizado, é limitado pela capacidade computacional existente. O volume de dados a processar num levantamento típico em duas dimensões, 2-D, é grande (da ordem de centenas de

Mb) e alguns processos são computacionalmente muito intensos ($O(n^3)$). Assim, muitas vezes, estes processos tornam-se praticamente inviáveis, sendo postergados para fases avançadas do processamento, quando o volume de dados já se encontra bastante reduzido. Nestes casos, não é todo o potencial do processo que pode ser aproveitado pela sua aplicação tardia.

A Interpretação dos Dados Sísmicos é a análise dos dados coletados e processados, com base no conhecimento geológico da região, procurando identificar nas camadas geológicas em subsuperfície a localização de situações mais favoráveis à ocorrência de jazidas de óleo e gás.

São exatamente os intérpretes, com suas cabidas exigências de uma maior resolução e quantidade de informações nos dados processados, que requerem a utilização de técnicas mais complexas e computacionalmente intensivas que demandam o uso de computadores progressivamente mais poderosos.

Assim, nem os atuais super-computadores onde é executado o processamento sísmico tornam factível a aplicação de tais processos.

O surgimento das primeiras máquinas paralelas comerciais traz a indagação do seu desempenho no Processamento Sísmico. Conhecidas as restrições destas máquinas com relação à entrada/saída de dados e à comunicação entre processadores, vem a pergunta: "Será viável a utilização das máquinas paralelas no Processamento Sísmico ? "

Ajudar a responder esta pergunta é a motivação básica desta tese de mestrado.

Para isto, escolheu-se um processo representativo da intensidade computacional do Processamento Sísmico que é a Migração Sísmica. Esta tese então, objetiva avaliar diversas formas de paralelização da Migração Sísmica em algumas máquinas paralelas: INTEL/iPSC, NCP-1/COPPE, IBM 3090/600VF, IBM 9021/820 e uma rede de estações IBM RS-6000 funcionando como uma máquina paralela através do uso do PVM (Parallel Virtual Machine).

Após grande quantidade de experimentos onde os ganhos mostraram-se muito bons em todas as máquinas testadas, conclui-se pela viabilidade do uso de paralelismo no Processamento Sísmico.

Este trabalho está organizado do seguinte modo: no capítulo 2, apresenta-se um sumário do método sísmico de reflexão para situar o leitor no ambiente da sísmica. No capítulo 3, há uma explicação intuitiva da migração e a apresentação de dois métodos de migração, o Phase-Shift e o ω -x. No capítulo 4, é discutido o paralelismo na migração ω -x. Nos capítulos de 5 a 7 são descritos os experimentos e discutidos os resultados obtidos nos diversos equipamentos testados. Finalmente, no capítulo 8 são apresentadas as conclusões e delineados os futuros trabalhos.

Capítulo 2 - Sumário do Método Sísmico de Reflexão

Este capítulo introduz o Método Sísmico de Reflexão e um de seus componentes, a Migração Sísmica. Descreve-se a aquisição e alguns métodos de processamento.

2.1 - A Aquisição Sísmica

No método de reflexão sísmica são geradas, na superfície, ondas elásticas que se propagam nas camadas em subsuperfície.

As fontes sísmicas podem ser vibracionais ou explosivas para aquisição terrestre e ar comprimido (air-gun) ou canhão hidráulico (water-gun), entre outras, para aquisição marítima.

Uma parte da energia sísmica gerada reflete-se nas interfaces das camadas retornando à superfície, onde é coletada por *geofones* (no caso terrestre) ou *hidrofonos* (no caso marítimo), que convertem vibrações em sinais elétricos.

Os sinais convertidos são transmitidos para um sismógrafo que os recebe por varredura, isto é, a cada intervalo determinado de tempo, chamado *intervalo de amostragem de aquisição*, o aparelho registra os sinais recebidos, gravando-os digitalmente em fita magnética.

A cada disparo da fonte sísmica, que é chamado de *tiro*, um conjunto determinado de geofones (ou hidrofonos) é ativado, recebendo as reflexões durante um período de tempo que é definido em função da profundidade da área de interesse.

A idéia é que conhecido o tempo decorrido entre o disparo da fonte e o registro da reflexão, pode-se determinar a profundidade do refletor (isto é, a interface das camadas que ocasionou a reflexão), desde que se conheça a velocidade do meio.

A partir daqui, serão usados termos de aquisição terrestre. A aquisição marítima é, em geral, análoga.

Para uma aquisição 2-D, em geral, define-se uma linha, denominada *linha sísmica*, sobre a qual são marcados os pontos de disparo da fonte sísmica, *pontos de tiro*, e a posição do conjunto de geofones. Após cada tiro, o ponto de tiro e o conjunto de geofones são deslocados sobre a linha.

A configuração geométrica dos tiros e geofones, chamada *lanço*, é determinada em função da profundidade, das características da área de interesse e dos tipos de ruído existentes no local. Uma ilustração da geometria de aquisição descrita acima pode ser vista na figura 1.

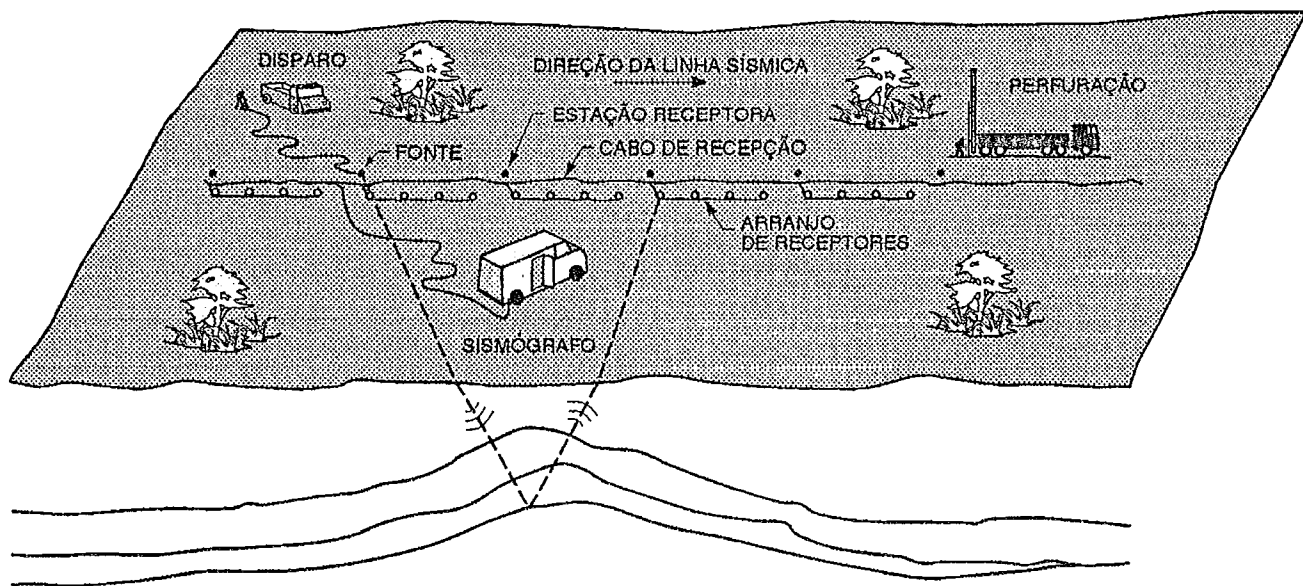


Figura 1. Disposição das fontes e receptores: (Adaptação de [Robinson80]).

A aquisição geralmente utiliza a técnica dos pontos médios comuns, *CMP*¹, que consiste na sobreposição de informações oriundas de pares tiro-geofone que possuem o mesmo ponto médio.

A técnica CMP gera uma multi-cobertura de dados com benefícios na melhoria da qualidade dos dados, na atenuação dos ruídos e na estimativa das velocidades em subsuperfície. A figura 2 mostra a cobertura múltipla gerada pela técnica CMP.

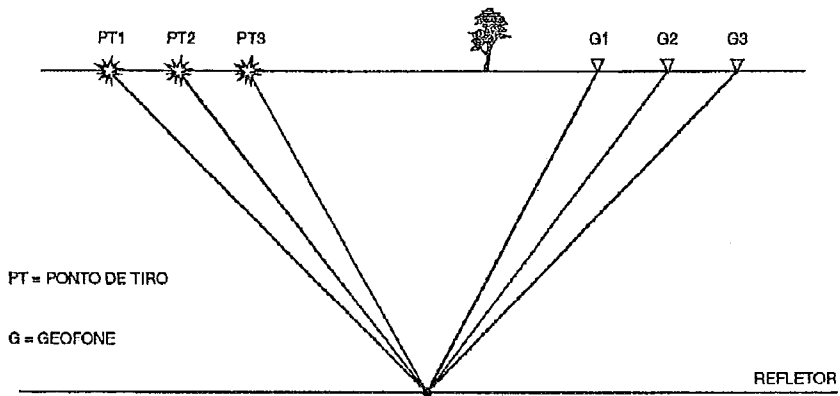


Figura 2. Cobertura CMP: Princípio básico da cobertura múltipla (Adaptação de [Hatton86]).

Como pode ser visto na figura 3, para refletores horizontais, um geofone está amostrando reflexões de pontos situados no plano dos pontos médios entre o tiro e o geofone. O afastamento entre o ponto de tiro e o geofone é denominado *offset*.

¹*Common Midpoint*

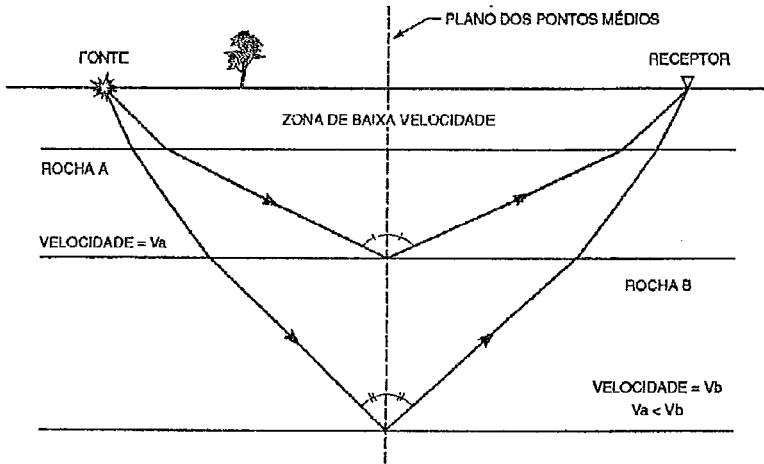


Figura 3. Reflexões em camadas horizontais: Caminhos dos raios aos pontos médios, para um meio de camadas horizontais (Adaptação de [Hatton86]).

Entretanto, se a subsuperfície contém camadas não horizontais, *mergulhantes*, (que é o caso usual) a técnica CMP induz distorções, amostrando pontos laterais como pertencentes ao plano dos pontos médios, como mostra a figura 4.

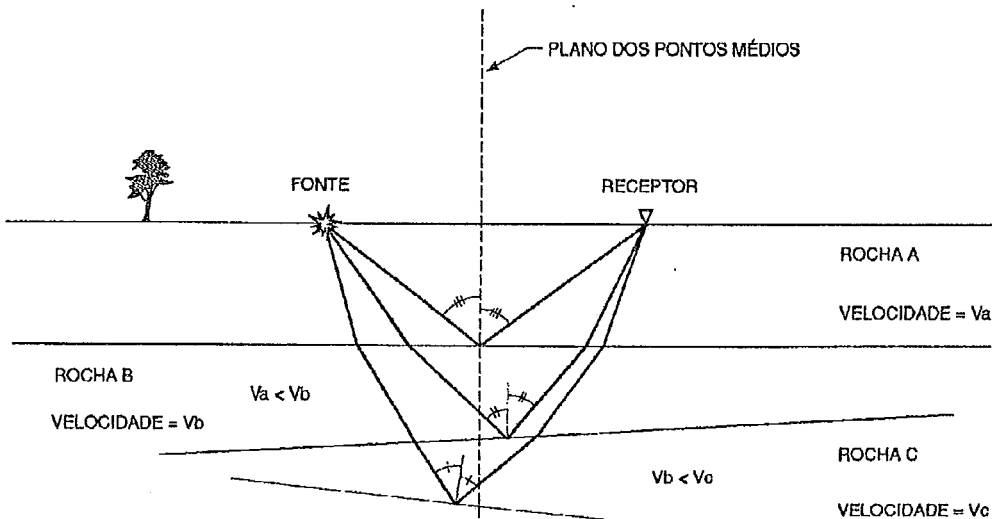


Figura 4. Reflexões em camadas mergulhantes: Caminho dos raios aos "pontos médios", considerando o efeito das camadas mergulhantes. (Adaptação de [Hatton86]).

O conjunto de dados recebidos por um determinado geofone durante um tiro é denominado *traço sísmico* (computacionalmente um vetor de amostras correspondentes a instantes sucessivos de tempo).

O tempo durante o qual as reflexões são recebidas é chamado de *comprimento do traço sísmico*. O número de amostras que compõem o traço sísmico é igual ao comprimento do traço sísmico dividido pelo intervalo de amostragem de aquisição.

A figura 5 retrata os traços sísmicos recebidos pelos geofones durante o registro de um tiro, para um lanço *split* (o ponto de tiro fica entre dois conjuntos de geofones).

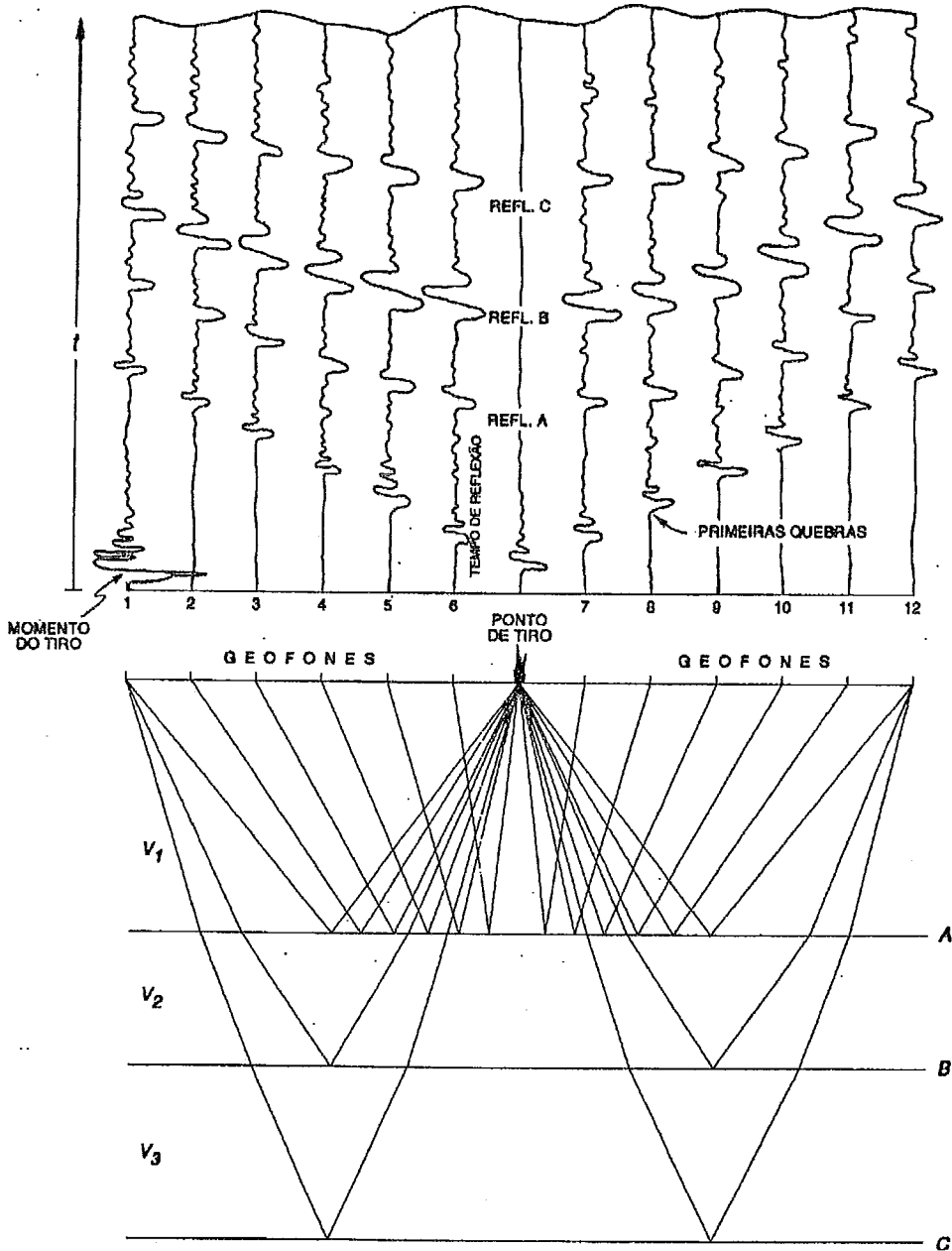


Figura 5. Reflexões sísmicas em lanço split: (Adaptação de [Bentz61]).

Os eventos indicados na figura 5 como *primeiras quebras*² devem-se principalmente à energia refratada na interface da primeira camada abaixo da superfície que é usualmente denominada *zona de baixa velocidade*.

Nos casos de camadas horizontais, as reflexões atingem primeiramente os geofones mais próximos do ponto de tiro. Como também pode ser observado na figura 5, as curvas dos tempos de chegada das reflexões aos geofones, em função da distância destes ao ponto de tiro, são aproximadamente hiperbólicas.

2.2 - O Processamento Sísmico

O objetivo desta etapa da prospecção é construir imagens geológicas interpretáveis da subsuperfície a partir dos dados sísmicos. Alguns dos processos aplicados visam eliminar os ruídos incorporados aos dados pela aquisição, recuperar as amplitudes relativas nos traços sísmicos e posicionar corretamente as estruturas em subsuperfície.

Para isto são necessários computadores de alto desempenho, técnicas matemáticas de processamento de sinais e a habilidade subjetiva do geofísico de processamento.

Um resultado do processamento é uma aproximação da seção sísmica de offset zero (fonte e receptor na mesma posição), isto é, todos os traços gerados pelos pares tiro-geofone que têm o mesmo CMP são colapsados em um único traço.

Seria o equivalente a um experimento hipotético em que a fonte e o receptor estivessem na mesma posição. Esta posição é o ponto médio das posições da fonte e do receptor no experimento real, isto é, o próprio CMP. O processo de colapsar todos estes traços em um único traço é chamado *empilhamento*.

A apresentação dos traços sísmicos será chamada de *sismograma* e de *seção sísmica* antes e após o empilhamento, respectivamente.

A seguir são descritas e exemplificadas as principais fases do processamento:

²*first breaks*

2.2.1- Demultiplexação

Não é um processo geofísico e sim uma conversão de formato de gravação de dados. Existem dois modos de aquisição de dados: um é o modo multiplexado, em que o sismógrafo grava seqüencialmente todas as primeiras amostras do primeiro ao último geofone, todas as segundas amostras do primeiro ao último geofone e assim sucessivamente até a gravação das últimas amostras do primeiro ao último geofone.

O outro é o modo demultiplexado, em que o sismógrafo grava seqüencialmente da primeira à última amostra do primeiro geofone, da primeira à última amostra do segundo geofone e assim sucessivamente até da primeira à última amostra do último geofone.

Apesar do modo demultiplexado ser o mais moderno, ainda se encontram muitos dados adquiridos no modo multiplexado. Nestes casos, é necessária a aplicação de um conversor que coloque os dados no formato demultiplexado que é a forma em que os dados são processados.

2.2.2- Correção de Decaimento de Amplitude

Uma análise das amplitudes de um traço sísmico mostra que há uma diminuição destas amplitudes à medida que o tempo aumenta. Isto se deve principalmente a perdas por divergência esférica (quando a frente de onda esférica avança, seu raio aumenta, diminuindo assim a quantidade de energia por unidade de superfície), perdas por absorção de energia (enquanto a onda se propaga pela terra, parte da sua energia é transformada em calor), perdas de transmissão (a energia da onda vai sendo reduzida pelas parcelas refletidas nas interfaces) e perdas por espalhamento (irregularidades e heterogeneidades no meio de propagação espalham a energia em direções aleatórias).

Há duas formas de correção: independente dos dados (RMS) e dependente dos dados (AGC). A análise de cada caso pelo geofísico de processamento vai indicar a melhor forma de correção a ser aplicada. As figuras 6 e 7 mostram um sismograma antes e após a aplicação de um ganho tipo AGC. Observe que antes do ganho as amplitudes nos tempos superiores a 0.7 s estão muito atenuadas e após a aplicação do ganho houve uma recuperação destas amplitudes.

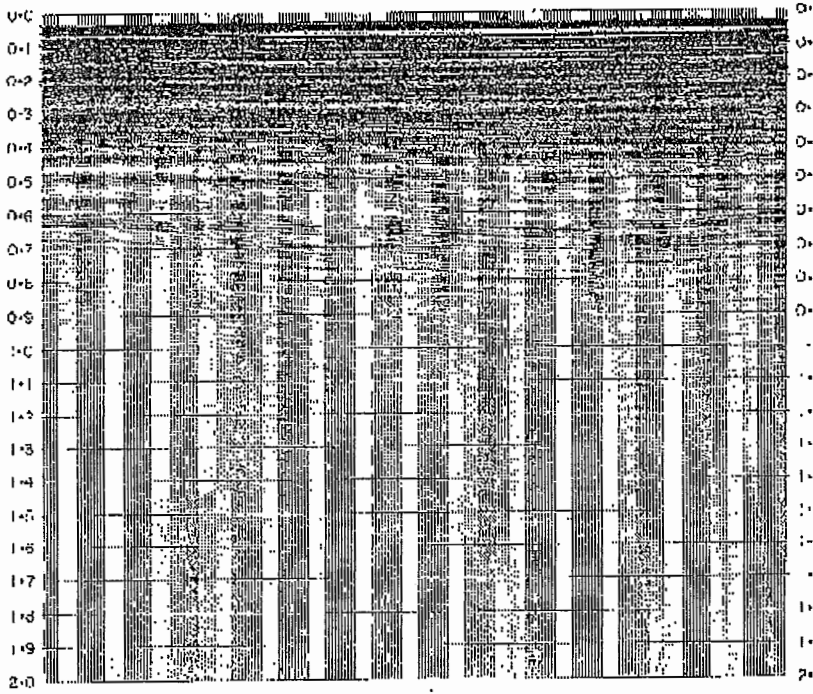


Figura 6. Sismograma antes do ganho AGC: (Adaptação de [Hatton86]).

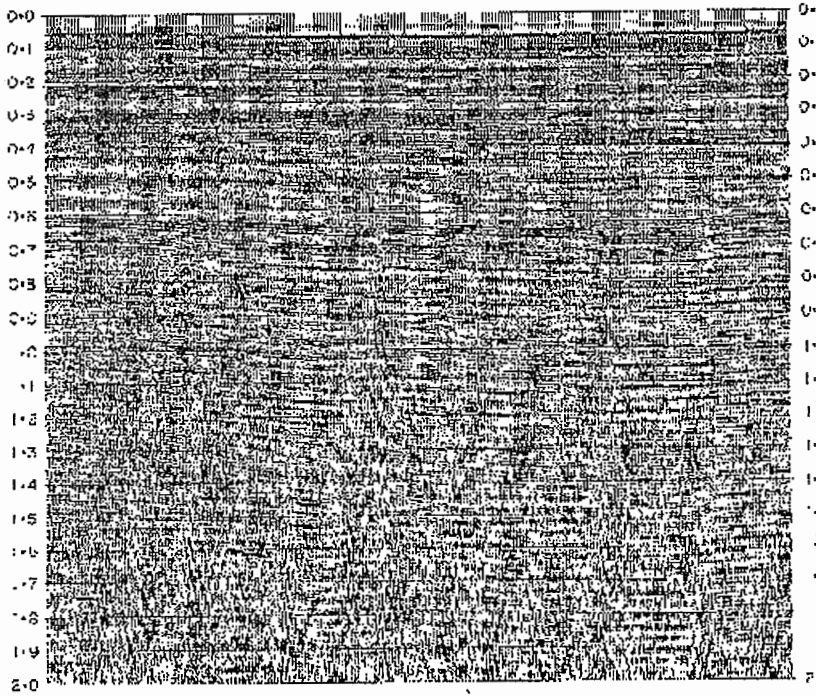


Figura 7. Sismograma após ganho AGC: (Adaptação de [Hatton86]).

2.2.3- Correção dinâmica

A correção dinâmica é também conhecida como *NMO*³. Na técnica CMP há uma redundância de dados pela múltipla amostragem de um mesmo ponto em subsuperfície. Para que os diversos traços relativos a um certo CMP possam ser empilhados, é necessária a aplicação de uma correção dinâmica (dependente do tempo) aos traços.

Esta correção é devida ao atraso com que as reflexões atingem os receptores de maior offset, como mostra a figura 5. A figura 8 apresenta um conjunto de CMPs antes da aplicação da correção de NMO e a figura 9 apresenta o mesmo conjunto de CMPs após esta correção. Observe que as reflexões que se apresentavam como curvas hiperbólicas antes da correção aparecem alinhadas após a aplicação do NMO.

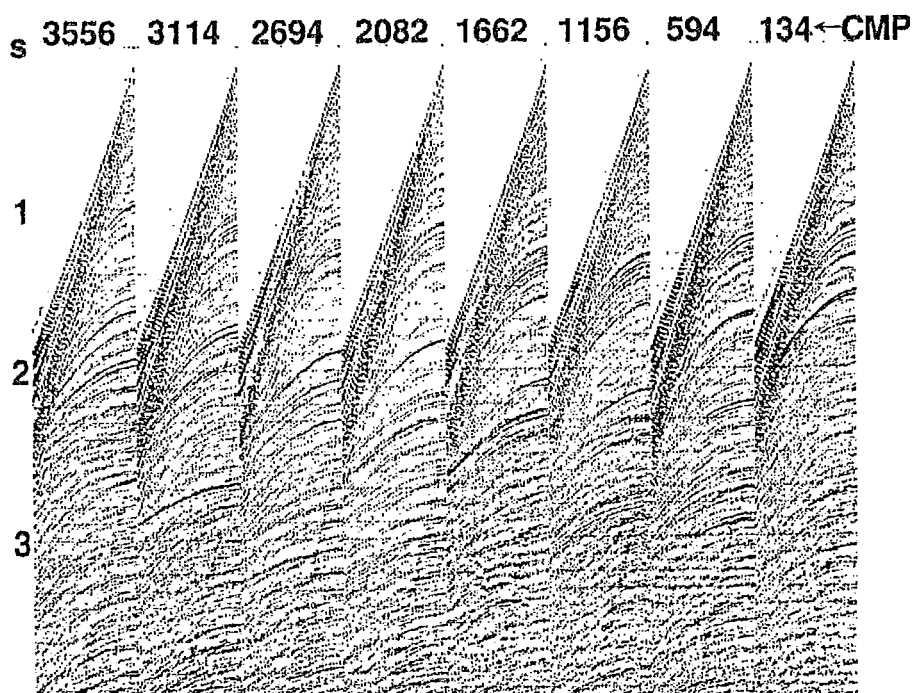


Figura 8. Sismograma antes da correção dinâmica: (Adaptação de [Yilmaz87]).

³Normal Move Out

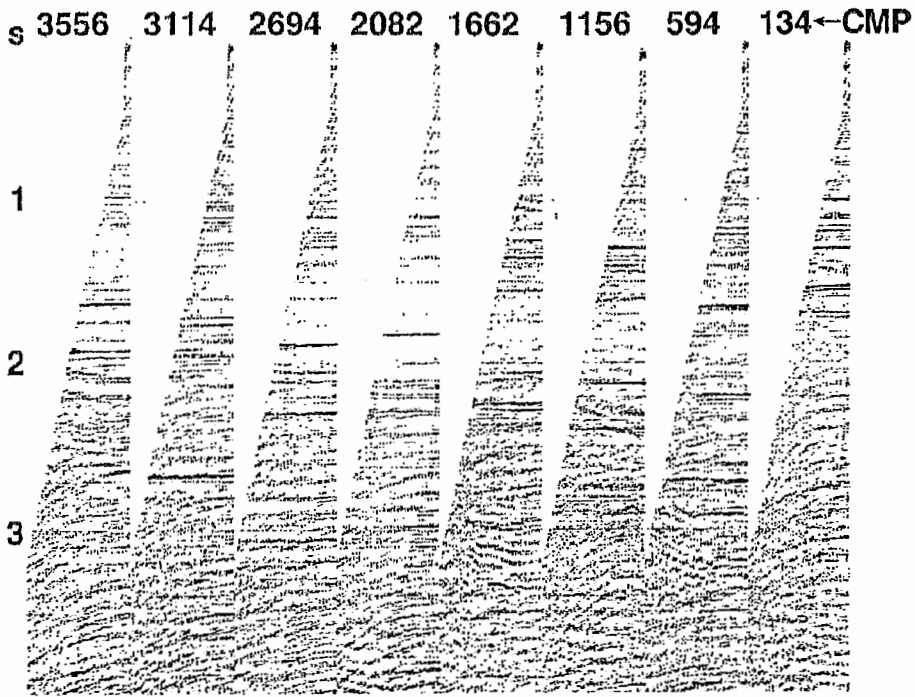


Figura 9. Sismograma após a correção dinâmica: (Adaptação de [Yilmaz87]).

2.2.4- Análise de Velocidades

Para que possa ser aplicada a Correção Dinâmica, é necessário que se tenha informações sobre as velocidades de propagação nos diversos meios em subsuperfície. Como já foi comentado na seção 2.1, a multicobertura gerada pela técnica CMP permite estimativas das velocidades em subsuperfície.

A análise de velocidades consiste em apresentar medidas de coerência de sinal ao longo das hipérbolas de reflexão, em CMPs previamente escolhidos, permitindo ao geofísico de processamento a escolha das velocidades mais convenientes em cada CMP e a cada profundidade.

2.2.5- Correção Estática

Os tempos de reflexão são freqüentemente afetados por irregularidades próximas à superfície. Para corrigir estes efeitos, especialmente o da variação da elevação na superfície, é feita uma correção no tempo dos traços, como se eles tivessem sido adquiridos não na superfície mas em uma linha, em geral plana, abaixo da superfície, denominada *datum*.

$$k_z = -\frac{\omega}{V} \left(1 - \frac{V^2 k_x^2}{2\omega^2} \right)$$

$$k_z = -\frac{\omega}{V} + \frac{V}{2\omega} k_x^2$$

Re-escrevendo (5):

$$\frac{\partial P}{\partial z} = i \left(-\frac{\omega}{V} + \frac{V}{2\omega} k_x^2 \right) P$$

$$\frac{\partial P}{\partial z} = -i \frac{\omega}{V} P + i \frac{V}{2\omega} k_x^2 P$$

Mas:

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} = -k_x^2 P$$

Logo:

$$\frac{\partial P}{\partial z} = -i \frac{\omega}{V} P - i \frac{V}{2\omega} \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} \quad (6)$$

Esta é a equação a ser resolvida nesta nova formulação do problema.

Seja

$$P(x,z,t) = \sum_{\omega} Q(x,z,\omega) e^{(-i\omega t - i\frac{\omega}{V}z)} \quad (7)$$

uma possível de solução para (6). Então, substituindo (7) em (6), obtém-se para cada ω :

$$\frac{\partial Q}{\partial z} e^{(-i\omega t - i\frac{\omega}{V}z)} - i \frac{\omega}{V} P = -i \frac{\omega}{V} P - i \frac{V}{2\omega} \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} e^{(-i\omega t - i\frac{\omega}{V}z)}$$

ou seja,

