



República Federativa do Brasil  
Ministério do Desenvolvimento, Indústria  
e do Comércio Exterior  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

(21) **PI 1102660-0 A2**

(22) Data de Depósito: 10/06/2011  
(43) Data da Publicação: 26/12/2012  
(RPI 2190)



(51) *Int.Cl.:*  
G01V 1/38  
G01V 1/48

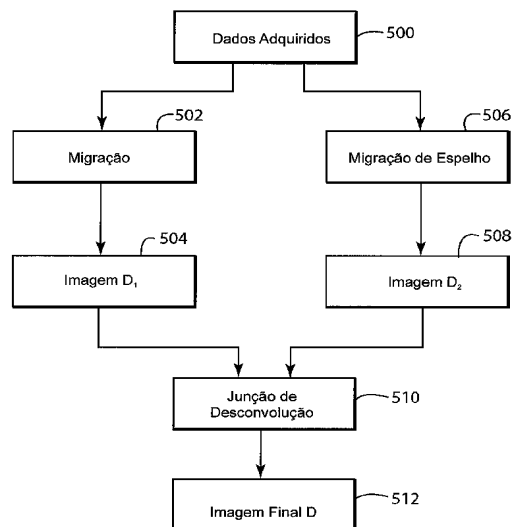
(54) **Título:** MÉTODO E APARELHO PARA RETIRADA DE IMAGEM DUPLA DE DADOS SÍSMICOS

(30) **Prioridade Unionista:** 10/06/2010 FR 10 54599, 14/10/2010 US 61/393,057

(73) **Titular(es):** CGGVeritas Services SA

(72) **Inventor(es):** Robert Soubaras

(57) **Resumo:** MÉTODO E APARELHO PARA RETIRADA DE IMAGEM DUPLA DE DADOS SÍSMICOS. A invenção refere-se a um aparelho, instruções de computador e método para retirada de imagem dupla de dados sísmicos relacionados a uma sub-superfície de um corpo de água. O método inclui admitir dados registrados por detectores que são rebocados por um vaso, os dados sendo associados com ondas que se deslocam a partir da sub-superfície para os detectores; aplicar um procedimento de migração aos dados para determinar uma primeira imagem da sub-superfície; aplicar um procedimento de migração de espelho aos dados para determinar uma segunda imagem da sub-superfície; juntar a desconvolução da primeira imagem e da segunda imagem para retirada de imagem dupla de uma refletividade da sub-superfície; e gerar uma imagem final da sub-superfície baseada na refletividade de retirada de imagem dupla da etapa de junção de desconvolução.



Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**MÉTODO E APARELHO PARA RETIRADA DE IMAGEM DUPLA DE DADOS SÍSMICOS**".

ANTECEDENTES

5 CAMPO TÉCNICO

As modalidades da matéria-objeto aqui revelada geralmente referem-se a métodos e sistemas e, mais particularmente, a mecanismos e técnicas para retirada de imagem dupla de dados sísmicos.

DISCUSSÃO DOS ANTECEDENTES

10 Durante os anos passados, o interesse no desenvolvimento de novos campos de produção de óleo e gás aumentou dramaticamente. Contudo, a disponibilidade de campos de produção baseados na terra é limitada. Desse modo, a indústria se estendeu agora à perfuração em localizações em mar aberto, que parecem manter uma vasta quantidade de combustível  
15 fóssil. A perfuração em mar aberto é um processo custoso. Desse modo, aqueles engajados em tal empreendimento custoso investem substancialmente em levantamentos geofísicos de modo a decidir mais precisamente onde perfurar ou não (para evitar um, poço seco).

O processamento e aquisição de dados sísmicos marinhos gera  
20 um perfil (imagem) da estrutura geofísica (sub-superfície) sob o solo marinho. Enquanto este perfil não proporciona uma localização precisa para o óleo e gás, ele sugere àqueles treinados no campo, a presença ou ausência de óleo e/ou gás. Desse modo, o fornecimento de uma imagem de alta resolução da sub-superfície é um processo em andamento para exploração de  
25 fontes naturais, incluindo, entre outras, óleo e/ou gás.

Durante um processo de aquisição de dados sísmicos, conforme mostrado na figura 1, um vaso 10 arrasta detectores plurais 12. Os detectores plurais 12 são dispostos ao longo de um cabo 14. O cabo 14, junto com seus detectores correspondentes 12, são, às vezes, referidos por aqueles  
30 técnicos no assunto como uma flâmula 16. O vaso 10 pode rebocar flâmulas plurais 16 ao mesmo tempo. As flâmulas podem ser dispostas horizontalmente, isto é, assentando a uma profundidade constante  $z_1$  relativa à super-

fície 18 do oceano. Também, as flâmulas plurais 16 podem formar um ângulo constante (isto é, as flâmulas podem ser inclinadas) com relação à superfície do oceano conforme revelado na Patente U.S. No. 4.992.992, o conteúdo total da qual é incorporado aqui por referência. A figura 2 mostra tal configuração na qual todos os detectores 12 são distribuídos ao longo de uma linha reta inclinada 14 que faz um ângulo constante  $\alpha$  com uma linha horizontal de referência 30.

Com referência à figura 1, o vaso 10 também arrasta uma fonte de som 20 configurada para gerar uma onda acústica 22a. A onda acústica 22a se propaga para baixo e penetra no solo marinho 24, eventualmente sendo refletida por uma estrutura de reflexão 26 (refletor). A onda acústica refletida 22b se propaga ascendentemente e é detectada pelo detector 12. Para simplicidade, a figura 1 mostra somente duas trajetórias 22a correspondentes à onda acústica. Contudo, a onda acústica emitida pela fonte 20 pode ser substancialmente uma onda esférica, por exemplo, ela se propaga em todas as direções partindo da fonte 20. As partes da onda acústica refletida 22b (primária) são registradas pelos vários detectores 12 (os sinais registrados são denominados traços), enquanto partes da onda refletida 22c passam nos detectores 12 e chegam à superfície da água 18. Desde que a interface entre a água e ar é bem aproximada como um refletor quase-perfeito (isto é, a superfície da água age como um espelho para as ondas acústicas), a onda refletida 22c é refletida de volta em direção ao detector 12 conforme mostrado pela onda 22d na figura 1. A onda 22d é normalmente referida como um onda de imagem dupla (fantasma) porque esta onda é devido a uma reflexão espúria. As imagens duplas são também registradas pelo detector 12, mas com uma polaridade reversa e um retardo de tempo relativo à onda primária 22b. O efeito degenerativo que a imagem dupla (fantasma) alcança tem na largura de faixa sísmica e a resolução são conhecidos. Na essência, a interferência entre adventos primários e de imagem dupla causam entalhes, ou folgas, no conteúdo de frequência registrado pelos detectores.

Os traços podem ser usados para determinar a sub-superfície

(isto é, estrutura térrea abaixo da superfície 24) e para determinar a posição e presença de refletores 26. Contudo, as imagens duplas causam distúrbio na precisão da imagem final da sub-superfície e por pelo menos esta razão, vários métodos existem para remoção das imagens duplas, isto é, retirada  
5 de imagem dupla, a partir dos resultados de uma análise sísmica. Adicionalmente, as medições atuais necessitam serem processadas para obtenção da posição corrigida das várias partes (refletores) da sub-superfície. Tal método de processamento é a migração.

As Patentes U.S. Nos. 4.353.121 e 4.992.992, o conteúdo total  
10 das quais é incorporado aqui por referência, descrevem procedimentos de processamento que permitem que imagens duplas sejam removidas dos dados sísmicos registrados pelo uso de um dispositivo de aquisição que inclui uma flâmula sísmica inclinada em um ângulo (na ordem de 2 graus) para a superfície da água (flâmula inclinada).

15 Usando-se as flâmulas inclinadas, é possível alcançar supressão de imagem dupla durante operação de adição (durante operações de pré-empilhamento). De fato, os dados adquiridos são redundantes, e o procedimento de processamento inclui uma etapa de adição ou "empilhamento" para obtenção da imagem final da estrutura de sub-superfície a partir dos dados redundantes. A supressão da imagem dupla é realizada na técnica du-  
20 rante a etapa de empilhamento porque os registros que contribuem para a pilha, tendo sido registrados por receptores diferentes, têm entalhes em frequências diferentes, tal que a informação que está faltando devido à presença de um entalhe em um receptor sísmico é obtida de outro receptor.

25 Adicionalmente, a Patente U.S. No. 4.353.121 descreve um procedimento de processamento de dados sísmicos baseados nas seguintes etapas conhecidas: (1) coleta de ponto de profundidade comum, (2) extrapolação unidimensional (1D) em uma superfície horizontal, ou "formação de dados", (3) correção de Normal MoveOut (NMO), e (4) adição ou pilha.

30 A formação de dados é um procedimento de processamento em que dados de N detectores sísmicos  $D_n$  (com posições  $(x_n, z_n)$ , onde  $n=1, \dots, N$  e  $N$  é um número natural,  $x_i = x_j$  mas  $z_i$  diferente de  $z_j$  com  $i$  e  $j$  tomando valo-

res entre 1 e N), são usados para sintetizar dados correspondentes a detectores sísmicos que têm as mesmas posições horizontais  $x_n$  e uma mesma profundidade de referência constante  $z_0$  para todos os detectores sísmicos.

5 A formação de dados é denominada 1D se é assumido que as ondas sísmicas se propagam verticalmente. Neste caso, o procedimento inclui aplicar a cada registro de domínio de tempo adquirido por um dado detector sísmico um retardo ou uma alteração estática correspondente ao tempo de propagação vertical entre a profundidade verdadeira  $z_n$  de um detector  $D_n$  e a profundidade de referência  $z_0$ .

10 Além disso, a Patente U.S. No. 4.353.121 descreve uma adição do primário (empilhamento primário) pelo uso da correção NMO que alinha os primários, em seguida uma adição das imagens duplas (empilhamento de imagem dupla) pelo alinhamento das reflexões de imagem dupla, e, em seguida, combinando os resultados destas duas etapas para obter uma imagem de pós-empilhamento com uma proporção agrupada de sinal para ruído.

20 Similar à Patente U.S. No. 4.353.121, a Patente U.S. No. 4.992.992 propõe reconstituir os dados sísmicos registrados com um dado sísmico de cabo inclinado conforme teria sido registrado por um cabo horizontal. Contudo, a Patente U.S. No. 4.992.992 leva em conta a propagação não-vertical das ondas sísmicas pela substituição da etapa de formação de dados 1D da Patente U.S.No. 4.353.121 com uma etapa de formação de dados 2D. A etapa de formação de dados 2D leva em conta o fato que a propagação das ondas não é necessariamente vertical, diferente do o que é  
25 assumido para ser o caso na etapa de formação de dados 1D proposta pela Patente U.S. No. 4.353.121.

30 Mais especificamente, a US 4.992.992 reconstrói dois conjuntos de dados sísmicos como se eles tivessem sido registrados por uma flâmula horizontal e em seguida somam os dois conjuntos após multiplicação por um fator. O primeiro conjunto de dados é sintetizado assumindo-se que as ondas sísmicas estão se propagando para cima similar às ondas primárias, e o segundo conjunto é sintetizado assumindo-se que as ondas sísmicas estão

se propagando similares a imagens duplas. A propagação ascendente (onda de elevação) é definida por ângulos de propagação com relação à horizontal entre  $0^\circ$  e  $180^\circ$ , e propagação descendente (onda descendente) é definida por ângulos de propagação entre  $180^\circ$  a  $360^\circ$  com a horizontal.

5 Os métodos descritos nas Patentes U.S. Nos. 4.353.121 e 4.992.992 são procedimentos de processamento sísmico em uma dimensão e em duas dimensões. Tais procedimentos, contudo, não podem ser generalizados a três dimensões. Isto é, desse modo, porque um intervalo de amostragem dos sensores na terceira dimensão é dado pela separação entre as  
10 flâmulas, na ordem de 150 m, que é muito maior do que o intervalo de amostragem dos sensores ao longo das flâmulas que é na ordem de 12,5 m. Também, os procedimentos existentes podem aplicar uma etapa de retirada de imagem dupla no começo do processamento, que não é sempre muito eficiente.

15 Consequentemente, seria desejável proporcionar sistemas e métodos que evitam os problemas antes mencionados, por exemplo, proporciona um procedimento de processamento sísmico 3D que permite imagem da geologia de sub-superfície baseada nos dados registrados sísmicos marinhos em profundidades de água diferentes.

## 20 SUMÁRIO

De acordo com uma modalidade exemplar, é provido um método para retirada de imagem dupla de dados sísmicos relacionados a uma sub-superfície de um corpo de água. O método inclui admitir dados registrados por detectores que são rebocados por um vaso, os dados sendo associados  
25 com ondas que se deslocam a partir da sub-superfície aos detectores; aplicar um procedimento de migração para os dados para determinar uma primeira imagem da sub-superfície; aplicar um procedimento de migração de espelho para os dados para determinar uma segunda imagem da sub-superfície; juntar a desconvolução da primeira imagem e da segunda ima-  
30 gem para retirada de imagem dupla de uma refletividade da sub-superfície; e gerar uma imagem final da sub-superfície baseada na refletividade com retirada de imagem dupla da etapa de junção de desconvolução.

De acordo com ainda outra modalidade exemplar, existe um dispositivo de processamento para retirada de imagem dupla de dados sísmicos relacionados a uma sub-superfície de um corpo de água. O dispositivo de processamento inclui uma interface configurada para receber dados registrados por detectores que são rebocados por um vaso, os dados sendo associados com ondas que se deslocam a partir da sub-superfície para os detectores; e um processador conectado à interface. O processador é configurado para aplicar um procedimento de migração para os dados para determinar uma primeira imagem da sub-superfície, aplicar um procedimento de migração de espelho aos dados para determinar uma segunda imagem da sub-superfície, juntar a desconvolução da primeira imagem e da segunda imagem para retirada de imagem dupla de uma refletividade da sub-superfície, e gerar uma imagem final da sub-superfície baseada na refletividade com retirada de imagem dupla da etapa de junção de desconvolução.

De acordo com ainda outra modalidade exemplar, existe um meio legível por computador incluindo instruções executáveis por computador, no qual as instruções, quando executadas, implementam um método para retirada de imagem dupla de dados sísmicos relacionados a uma sub-superfície de um corpo de água. O método inclui admitir dados registrados por detectores que são rebocados por um vaso, os dados sendo associados com ondas que se deslocam da sub-superfície para os detectores; aplicar um procedimento de migração para os dados para determinar uma primeira imagem da sub-superfície; aplicar um procedimento de migração de espelho aos dados para determinar uma segunda imagem da sub-superfície; juntar a desconvolução da primeira imagem e da segunda imagem para retirada de imagem dupla de uma refletividade da sub-superfície; e gerar uma imagem final da sub-superfície baseada na refletividade com retirada de imagem dupla da etapa de junção de desconvolução.

#### BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

Os desenhos acompanhantes, que são incorporados em e constituem uma parte do relatório, ilustram uma ou mais modalidades e, juntos com a descrição, explanam estas modalidades. Nos desenhos:

a figura 1 é um diagrama esquemático de um sistema de aquisição de dados sísmicos convencional tendo uma flâmula horizontal;

a figura 2 é um diagrama esquemático de um sistema de aquisição de dados sísmicos convencional tendo uma flâmula inclinada;

5 a figura 3 é um diagrama esquemático de um sistema de aquisição de dados sísmicos tendo uma flâmula de perfil curvo;

a figura 4 ilustra ondas que se deslocam para baixo e se deslocam para cima, produzidas por uma fonte e registradas por detectores plurais;

10 a figura 5 é um fluxograma de um método para geração de uma imagem final de uma sub-superfície de acordo com uma modalidade exemplar;

a figura 6 é um gráfico ilustrando dados processados por um procedimento de migração;

15 a figura 7 é um gráfico ilustrando dados processados por um procedimento de migração de espelho;

a figura 8 é um gráfico ilustrando dados processados por um novo procedimento de acordo com uma modalidade exemplar;

20 a figura 9 é um fluxograma ilustrando um método para calcular uma imagem final de uma sub-superfície de acordo com uma modalidade exemplar;

a figura 10 é um diagrama esquemático de um aparelho de processamento configurado para realizar um novo método de acordo com uma modalidade exemplar; e

25 a figura 11 é um fluxograma ilustrando um método para retirada de imagem dupla de acordo com uma modalidade exemplar.

#### DESCRIÇÃO DETALHADA

A seguinte descrição das modalidades exemplares se refere aos desenhos acompanhantes. Os mesmos números de referência em desenhos diferentes identificam os mesmos ou elementos similares. A seguinte descrição detalhada não limita a invenção. Ao contrário, o escopo da invenção é definido pelas reivindicações em anexo. As seguintes modalidades são dis-

30

cutidas, para simplicidade, com relação à terminologia e estrutura de migração, migração de espelho e processos de migração de espelho equiparados para determinação de uma imagem final de uma sub-superfície. Contudo, as modalidades a serem discutidas em seguida não são limitadas a estes processos, mas podem ser aplicadas a outros processos que são usados para processamento de dados sísmicos ou outros dados relacionados à determinação da posição de uma estrutura que não é diretamente alcançável para medições.

A referência através de todo relatório a "uma modalidade" significa que uma característica ou estrutura particular descrita em conjunto com uma modalidade é incluída em pelo menos uma modalidade da matéria-objeto revelada. Desse modo, o aparecimento da frase "em uma modalidade" em vários lugares através de todo relatório não está necessariamente se referindo à mesma modalidade. Adicionalmente, as características e estruturas particulares podem ser combinadas em qualquer maneira adequada em uma ou mais modalidades.

De acordo com uma modalidade exemplar, existe um método para migração de retirada de imagem dupla e migração de imagens de espelho por junção de desconvolução para geração de uma imagem final de uma sub-superfície. Em outra modalidade exemplar, a retirada de imagem dupla é realizada no final do processamento (durante uma fase de imagem) e não no começo como os métodos tradicionais. Em ainda outra modalidade exemplar, nenhuma etapa de formação de dados é realizada nos dados. Em ainda outra modalidade exemplar, o método é aplicável sem restrições como para uma direção de propagação das ondas. De acordo com ainda outra modalidade exemplar, um procedimento de processamento de dados sísmicos 3D é apresentado e o procedimento 3D permite realização de imagem da geologia da sub-superfície baseada nos dados sísmicos marinhos registrados em profundidades de água diferentes. De acordo com ainda outra modalidade exemplar, os dados que são processados são coletados usando-se flâmulas tendo um perfil curvo, isto é, parte dos detectores não é provida em uma flâmula inclinada embora os detectores tenham profundidades

variantes relativas à superfície da água. Estes tipos de flâmulas foram revelados no Pedido de Patente Francês depositado No. de Série FR1052576, intitulado "Método e Dispositivo para Adquirir Dados Sísmicos Marinhos", o conteúdo total do qual é incorporado aqui por referência, e também no Pedido de Patente Provisório U.S. No. 61/392.982, Documento do Agente No. 100001/0336-001, intitulado "Método e Dispositivo para Adquirir Dados Sísmicos", o conteúdo total do qual é incorporado aqui por referência. Também, o pedido de patente francês depositado No. de série FR1054599, tendo o título "Método para Processar Dados Sísmicos Marinhos" é incorporado aqui por referência.

De acordo com outra modalidade exemplar, um novo método de retirada de imagem dupla é adaptado a qualquer técnica de aquisição de faixa ampla. O método de retirada de imagem dupla é insensível a ruído, preservando amplitude, e é capaz de proporcionar a resposta de terra destituída de imagem dupla verdadeira (isto é, a resposta que seria obtida se a superfície da água ser não-refletiva). Antes de discutir os detalhes do método, um exame do método é acreditado estar em ordem. O método produz uma migração convencional, bem como uma migração de espelho, e então o método realiza uma junção de desconvolução destas duas imagens. Uma migração de espelho é referida como uma que migra de um conjunto duplicado de receptores que são espelhados acima da superfície. O processo é ilustrado no conjunto de dado sintético 2D usando um modelo de velocidade com um gradiente vertical, uma onda pequena de canhão de ar atual para modelar os arremessos, e uma flâmula de profundidade variável. A modelagem dos arremessos pode ser feita com uma reflexão da superfície da água (dados com imagem dupla). Os arremessos com a imagem dupla são processados através de desassinatura determinística, migração, migração de espelho, e junção de desconvolução.

Na migração convencional, os eventos primários são perfeitamente empilhados, enquanto os eventos de imagem dupla imperfeitamente empilhados estão presentes na forma de uma onda pequena de imagem dupla causal residual (isto é, retardando os primários). Inversamente, na mi-

gração de espelho, os eventos de imagem dupla são perfeitamente empilhados com sua polaridade revertida, enquanto os eventos primários imperfeitamente empilhados estão presentes na forma de uma onda pequena anti-causal residual (isto é, os primários residuais precedem as imagens duplas de imagem de poço).

Esta imagem dupla da mesma refletividade com dois pontos de vista diferentes é usada para extrair a migração com retirada de imagem dupla de amplitude verdadeira. É uma adoção razoável considerar uma onda pequena de imagem dupla como um sinal de fase mínima, ou pelo menos um sinal de fase marginalmente mínimo. Do mesmo modo pode ser considerado que a migração de espelho dá a mesma refletividade conforme a migração, mas distorcida por uma onda pequena que é de fase máxima. Isto pode ser considerado como uma visão binocular da refletividade com a imagem de migração convencional colorida por uma distorção de fase mínima normalizada, e a imagem de migração de espelho colorida por uma distorção de fase máxima normalizada. Para recuperar a refletividade em cor verdadeira (isto é, sem distorção) uma fase mínima de junção, desconvolução de fase máxima é aplicada na migração e migração de espelho.

Diferente da desconvolução convencional, este é um problema matemático bem posto que significa que tem uma solução única, mesmo quando os operadores têm entalhes espectrais perfeitos. Portanto, não existe requerimento para a adução usual que a refletividade é branca; o espectro de amplitude da refletividade permanece arbitrário.

A técnica de migração de espelho equiparada e junção de desconvolução com retirada de imagem dupla é bem adequada para aquisição de flâmula de profundidade variável. A técnica é totalmente 3D visto que ela não produz adoções em 2D e não tem limitações na direção de linha transversal, tornando-a adequada para azimute amplo, bem como levantamentos em 3D.

O processo de reunião de dados sísmicos marinhos foi discutido no Pedido de Patente Provisório U.S. No. 61/392.982, "Método e Dispositivo para Adquirir Dados Sísmicos", e, desse modo, este processo não é repetido

aqui. Adicionalmente, o pedido de patente acima identificado identifica a possibilidade de reunir dados não somente pelo uso de flâmulas tradicionais, isto é, os detectores assentando ao longo das linhas horizontais ou ao longo de uma linha inclinada, mas também usando novas flâmulas em que parte dos detectores pode assentar em um perfil curvo (profundidades variável) ou flâmulas que têm seções inclinadas múltiplas.

Tal configuração é ilustrada na figura 3, em que uma flâmula 60 tem um perfil curvo definido por três quantidades paramétricas,  $z_0$ ,  $s_0$  e  $h_c$ . É notado que não a flâmula total tem que ter o perfil curvo. Em outras palavras, o perfil curvo não deve ser construído para sempre se aplicar ao comprimento total da flâmula. Enquanto esta situação é possível, as modalidades exemplares não proibem ter o perfil curvo aplicado a somente uma porção da flâmula. O primeiro parâmetro  $z_0$  indica a profundidade do primeiro detector 54a relativa à superfície 58 da água. Este parâmetro pode ter um valor na faixa de metros a dezenas de metros. Por exemplo,  $z_0$  pode ser ao redor de 6 m. Contudo, conforme seria reconhecido por aqueles técnicos no assunto, o valor de  $z_0$  depende de cada aplicação e pode estar relacionado à profundidade do fundo do oceano, a profundidade dos refletores, a energia da fonte de som, etc.

O segundo parâmetro  $s_0$  está relacionado à inclinação da parte inicial da flâmula 52 relativa a uma linha horizontal 64. O ângulo  $s_0$  é ilustrado na figura 3 e é determinado por uma tangente T a uma parte inicial da flâmula e a linha horizontal 64. É notado que a inclinação do perfil curvo no ponto 54a é dada por uma proporção da mudança do perfil curvo ao longo do eixo Z com relação à mudança ao longo do eixo X. A inclinação é, desse modo, igual ao valor matemático da tangente do ângulo  $s_0$ , isto é, inclinação (no ponto 54a na figura 3) =  $\tan(s_0)$ . Adicionalmente, é notado que para ângulos pequenos (por exemplo, cinco ou menos graus),  $\tan(s_0)$  é aproximadamente igual a  $s_0$ , se o ângulo é expresso em radianos e não em graus. Desse modo, para ângulos pequenos, a inclinação e o ângulo podem ser usados permutavelmente. Em uma modalidade, o valor de  $s_0$  pode estar entre 0 e 6 graus. O exemplo mostrado na figura 3 tem um ângulo inicial  $s_0$  i-

gual a substancialmente 3 graus. É notado que o perfil da flâmula 52 na figura 3 não é retirado em escala como um ângulo de 3 graus é uma quantidade relativamente pequena.

O terceiro parâmetro  $h_c$  indica um comprimento horizontal (distância ao longo do eixo X na figura 3 medida a partir do primeiro detector 54a) da porção curvada da flâmula. Este parâmetro pode estar na faixa de centenas a milhares de metros. Por exemplo,  $h_c$  é ao redor de 3000 m para a configuração mostrada na figura 3. Este parâmetro define o final da parte curvada da flâmula 52. Em outras palavras, a flâmula 52 pode ter uma primeira porção 52a que tem um primeiro perfil curvo e uma segunda porção 52b que é ou plana ou tem um perfil curvo diferente. O parâmetro  $h_c$  define a primeira porção 52a. É notado que em uma aplicação a flâmula 52 tem ambos a primeira porção 52a e a segunda porção 52b, enquanto em outra aplicação a flâmula 52 tem somente a primeira porção 52a. Em outras palavras, em algumas modalidades, a flâmula não se estende ao longo do perfil curvo total, isto é, um comprimento da flâmula projetado no eixo X é menor do que  $h_c$ .

De acordo com outra modalidade exemplar, o perfil curvo da flâmula 60 pode ser descrito, aproximadamente pelas seguintes equações:

$$(1) \quad z(h) = z_0 + s_0 h \left( 1 - 0.5 \left( \frac{h}{h_c} \right) \right) \text{ para } h \leq h_c, \text{ e}$$

$$(2) \quad z(h) = z_0 + s_0 \cdot 0.5 \cdot h_c \text{ para } h > h_c.$$

Nestas equações,  $z$  é medido ao longo do eixo Z e  $h$  é medido ao longo do eixo X, onde Z é perpendicular à superfície da água e X se estende ao longo da superfície da água. Também, é notado que somente a equação (1) pode ser bastante para definir a forma da flâmula, dependendo do comprimento da flâmula. Em outras palavras, em algumas modalidades, a flâmula não tem que ter a porção plana. Para estas equações específicas, foi verificado que a clareza das imagens da sub-superfície se aperfeiçoa substancialmente. Aqueles técnicos no assunto compreenderiam que os valores providos pelas equações (1) e (2) são aproximados conforme os detectores 70 estão sob movimento constante exercido por várias correntes de

água e o movimento do vaso. Em outras palavras, é compreendido que os detectores que são providos substancialmente no perfil curvo descrito pela equação (1) e/ou (2), por exemplo, nas posições mais próximas a 10 a 20% para a curva real em termos da profundidade atual  $z(h)$ , são considerados serem cobertos pelas equações acima mencionadas. O mesmo é verdadeiro para pássaros 72 que são configurados para manter o perfil curvo. O perfil curvo pode ser um de uma parábola, um círculo, uma hipérbole ou uma combinação destas formas.

Embora a flâmula de perfil curvo discutida acima proporcione melhores resultados do que os perfis de flâmula existentes, o processamento discutido nas seguintes modalidades exemplares se aplica igualmente aos perfis de flâmula tradicionais (por exemplo, horizontal, inclinado).

Antes de se discutir o novo processo de retirada de imagem dupla, a provisão de umas poucas definições e conceitos relacionados a processamento de dados sísmicos é acreditado estar em ordem. Para esta proposta, a figura 4 ilustra uma composição de aquisição a ser usada como um exemplo. Conforme discutido mais tarde, outra composição pode ser usada.

A figura 4 ilustra um vaso 84 tendo uma fonte acústica 86 e rebocando uma flâmula 88. A flâmula 88 inclui detectores plurais 90 e os detectores são distribuídos, nesta modalidade exemplar, em uma flâmula inclinada. As ondas incidentes 80 alcançam o fundo 92 do oceano, onde parte delas é refletida. Contudo, parte das ondas incidentes continua a se deslocar na sub-superfície (estrutura sob o fundo 92) onde ela é refletida por vários refletores 94. Neste ponto, uma onda refletida 82 começa a se propagar em direção à superfície 96 da água. Esta onda refletida 82 que se desloca para cima é registrada pelos detectores 90. Contudo, a onda refletida 82 adicionalmente se desloca para a superfície 96, onde ela é refletida pela superfície da água, desse modo formando as imagens duplas 98, que também são registradas pelos detectores 90.

A onda incidente 80 (isto é, a onda emitida pela fonte 86) é assumida ser de deslocamento para baixo e descrita por uma função matemática  $D$ . Esta onda incidente  $D(x, y, z, t)$  depende da posição  $(x, y, z)$  e do

tempo  $t$  em qualquer ponto no espaço. A onda incidente  $D(x, y, z, t)$  é sintetizada recursivamente a profundidade  $z$  durante o processo de migração. A onda de deslocamento para baixo está sendo inicializada a uma profundidade da fonte sísmica  $z_s$ . Considerando-se que existem  $n$  detectores, com  $n$  de 5 1 a  $N$ , onde  $N$  é um número natural, a onda incidente  $D$  em toda profundidade de  $n\Delta z$  é então calculada recursivamente pelo cálculo da onda incidente  $D(x, y, z+\Delta z, t)$  a uma profundidade  $z+\Delta z$  a partir da onda incidente  $D(x, y, z, t)$  a profundidade  $z$ . Isto é realizado até que todos os detectores da flâmula sejam levados em conta.

10                    Similarmente, a onda refletida  $82$ , que é descrita por uma função matemática  $U(x, y, z, t)$ , é assumida estar se deslocando para cima e é inicializada a uma profundidade  $z = z_r$ , onde  $z_r$  é uma profundidade dos detectores se todos os detectores têm a mesma profundidade. Se os detectores são distribuídos em uma flâmula inclinada ou em uma flâmula tendo um perfil 15 curvo, a função  $U$  necessita ser ajustada para cada detector conforme discutido mais tarde. A onda refletida  $U$  no volume total é então calculada recursivamente pelo cálculo da onda que se desloca para cima  $U(x, y, z+\Delta z, t)$  a uma profundidade  $z+\Delta z$  a partir da onda que se desloca para cima  $U(x, y, z, t)$  a uma profundidade  $z$ .

20                    As profundidades dos detectores, isto é, o fato que a fonte e os detectores podem ter profundidades diferentes de zero relativa entre si podem ser levadas em conta pela adição das fontes e dos detectores a um correspondente  $z$  através de todos os cálculos recursivos. Por exemplo, um detector provido a uma profundidade  $z_r$ , assentando entre  $n\Delta z$  e  $(n+1)\Delta z$  é adicionado durante o cálculo recursivo de  $U((n+1)\Delta z)$  de  $U(n\Delta z)$ . 25

                    No caso de uma migração de espelho, a superfície da água é usada como um espelho: ao invés de "se olhar" em direção ao fundo do mar, "olha-se" em direção à superfície da água para ver os refletores localizados abaixo dos receptores sísmicos. A migração de espelho é descrita no pedido de patente francês depositado no. de série 1050278, tendo o título "Método para Processar Dados Sísmicos Marinhos", e Pedido de Patente Provisório 30 U.S. No. 61/393.008, Documento do Agente no. 100002/0336-002, intitulado

"Método e Dispositivo para Processamento de Dados Sísmicos", o conteúdo total dos quais é aqui incorporado por referência. Os mesmos pedidos também descrevem uma migração de espelho equiparada.

5 Uma vez que a migração é efetuada, uma imagem  $d(x, y, z)$  é obtida que inclui ondas de imagem dupla residuais. Se a imagem é obtida pelo uso do método de migração de espelho equiparada, as imagens duplas residuais são simétricas. A imagem  $d(x, y, z)$  pode ser considerada para ser igual à refletividade  $r(x, y, z)$  com convolução em  $z$  com uma função de transferência de imagem dupla residual  $g(z)$  conforme expressa pela seguinte equação:

$$d(x,y,z)=g(z)\cdot r(x,y,z).$$

Como a função de transferência de imagem dupla residual  $g(z)$  depende somente fracamente de uma posição  $(x, y, z)$ , a relação acima é válida dentro de um dado volume.

15 A operação de estimativa da refletividade  $r(x, y, z)$  a partir dos dados  $d(x, y, z)$  é denominada desconvolução. Esta operação necessita de uma estimativa da função de transferência  $g(z)$ . Dois processos são conhecidos àqueles técnicos no assunto para estimar a função de transferência  $g(z)$  e calcular a refletividade  $r(x, y, z)$  a partir dos dados  $d(x, y, z)$ .

20 Um processo é a Desconvolução de fase zero com refletividade branca. Este processo assume que  $g(z)$  é simétrico em  $z$  e que a refletividade tem uma autocorrelação branca em  $z$  (igual a um impulso em  $z=0$ ). Uma transformada de Fourier  $G(k_z)$  de  $g(z)$  é real, e uma transformada de Fourier  $R(x, y, k_z)$  de  $r(x, y, z)$  é complexa com módulo 1. Daqui, pode ser derivado que  $G(k_z)$  é o módulo de  $D(x, y, k_z)$ , a transformada de Fourier em  $z$  de  $d(x, y, z)$ .

O outro processo é a Desconvolução de fase mínima com refletividade branca. Este processo assume que  $g(z)$  é uma fase mínima e que a refletividade tem uma autocorrelação branca em  $z$ .

30 A desconvolução de fase zero torna possível a desconvolução da migração de espelho equiparada (porque neste caso  $g(z)$  é simétrico) e a desconvolução de fase mínima permite a desconvolução da migração pa-

drão porque para o processo de migração a função de transferência de imagem dupla residual é causal e pode ser considerada de fase mínima. Independente de qual dos dois procedimentos é usado para obtenção da refletividade (migração seguida por desconvolução de fase mínima ou migração de espelho equiparada seguida por desconvolução de fase zero), a adoção de refletividade branca é necessária para os processos tradicionais. Esta adoção foi comumente usada no processamento sísmico, mas usada menos e menos porque o assim denominado processamento de amplitude preservada está se tornando mais e mais o padrão. Neste tipo de processamento, não é somente a posição dos refletores que é de interesse, mas também sua amplitude, e, neste contexto, a adoção de refletividade branca não pode ser usada.

De acordo com uma modalidade exemplar ilustrada na figura 5, um novo método de processamento não requer a adoção de refletividade branca e preserva a amplitude. Na etapa 500, o dado adquirido, por exemplo, com a composição mostrada na figura 4, é admitido a um aparelho de processamento. Na etapa 502, o processo de migração é aplicado ao dado admitido para geração, na etapa 504, de uma imagem  $d_1$ . Similarmente, o mesmo dado da etapa 500 pode ser processado com um procedimento de migração de espelho na etapa 506 para gerar na etapa 508 uma imagem  $d_2$ . Em uma aplicação, nenhuma retirada de imagem dupla é aplicada ao dado admitido da etapa 500 antes das etapas 504 e 508. A imagem  $d_1(x, y, z)$  é obtida por migração (onde um registro de cada receptor é inserido em sua posição verdadeira  $(x_r, y_r, z_r)$ ) e a imagem  $d_2(x, y, z)$  é obtida por migração de espelho (onde um registro de cada receptor é inserido com uma mudança de sinal somente na posição de espelho do receptor  $(x_r, y_r, -z_r)$ ).

A migração alinha os eventos primários de modo que uma soma coerente dos eventos primários é possível e é mostrada na figura 6. A migração produz os eventos de imagem dupla para corresponder às posições  $z$  (no eixo  $Z$  na figura 4) maior do que os eventos primários correspondentes. Isto é ilustrado na figura 6 pelas áreas brancas 600 seguindo cada linha 602. Portanto, a imagem  $d_1(x, y, z)$  inclui ondas de imagem dupla residuais que

são representadas por uma função de transferência de fase mínima causal  $g_{\min}(z)$ , que se contamina pela convolução da refletividade  $r(x, y, z)$  conforme mostrado na equação (3):

$$d_1(x, y, z) = g_{\min}(z) \cdot r(x, y, z). \quad (3)$$

5 A função de transferência de fase mínima  $g_{\min}(z)$  é uma função causal e seu inverso é também causal.

A migração de espelho alinha os eventos de imagem dupla por mudança de seu sinal para fazer sua polaridade corresponder àquela dos eventos primários. Então, uma soma coerente dos eventos de imagem dupla é possível e é mostrada na figura 7. Os eventos primários correspondem neste caso, conforme mostrado na figura 7, às posições  $z$  menores do que os eventos de imagem dupla correspondentes. A figura 7 mostra as áreas brancas 600 sendo distribuídas acima (no eixo  $Z$ ) nas linhas 602. A imagem  $d_2(x, y, z)$  inclui ondas de imagem dupla residuais que são representadas por

10 é possível e é mostrada na figura 7. Os eventos primários correspondem neste caso, conforme mostrado na figura 7, às posições  $z$  menores do que os eventos de imagem dupla correspondentes. A figura 7 mostra as áreas brancas 600 sendo distribuídas acima (no eixo  $Z$ ) nas linhas 602. A imagem  $d_2(x, y, z)$  inclui ondas de imagem dupla residuais que são representadas por

15 uma função de transferência de fase máxima anticausal  $g_{\max}(z)$ , que se contamina pela convolução da refletividade  $r(x, y, z)$ , conforme mostrado na equação (4):

$$d_2(x, y, z) = g_{\max}(z) * r(x, y, z) \quad (4)$$

20 A função de transferência de fase máxima é uma função anticausal e seu inverso é também anticausal.

Em outras palavras, a migração empilha coerentemente os eventos primários, os eventos de imagem dupla sendo imperfeitamente empilhados de tal modo que a migração tem uma onda pequena de imagem dupla residual que é causal. A migração de espelho empilha coerentemente os eventos de imagem dupla com sua polaridade revertida, de tal modo que a migração de espelho tem uma pequena onda de imagem dupla residual que é anticausal. Em uma modalidade exemplar, o método de retirada de imagem dupla ilustrado na figura 5 usa uma "vista binocular" de duas imagens ( $d_1$  e  $d_2$ ) da mesma refletividade  $r$  com um ponto de vista diferente para extrair uma migração com retirada de imagem dupla de amplitude verdadeira que teria sido obtida por uma migração convencional se a superfície da água não fosse refletiva.

25

30

Após calcular  $d_1(x, y, z)$  e  $d_2(x, y, z)$  por migração e migração de espelho nas etapas 504 e 508, respectivamente, a refletividade  $r(x, y, z)$  pode ser obtida por um procedimento de "junção de desconvolução" realizado na etapa 510 (ver figura 5). A junção de desconvolução se refere a um procedimento de cálculo permitindo que a refletividade  $r(x, y, z)$ , um operador causal  $g_{\min}(z)$ , e um operador anticausal  $g_{\max}(z)$  a serem obtidos das imagens  $d_1(x, y, z)$  e  $d_2(x, y, z)$  de tal modo que as equações (3) e (4) sejam satisfeitas, exatamente ou aproximadamente, dentro de um certo volume computacional  $V$ . Mais especificamente, o operador causal  $g_{\min}(z)$  é um operador de fase mínima, e o operador anticausal  $g_{\max}(z)$  é um operador de fase máxima. Um operador de fase mínima ou um operador de fase máxima são conhecidos na teoria de controle. Por exemplo, o operador de fase tem a propriedade que ele é causal e estável e seu inverso é causal e estável. O operador de fase máxima é causal e estável e seu inverso é causal e instável.

Após a etapa de junção de desconvolução 510, uma imagem final "d" da sub-superfície é gerada na etapa 512. A imagem final  $d$  é ilustrada na figura 8 e ela pode ser vista que as áreas brancas 600 são grandemente reduzidas relativas às figuras 6 e 7 que usam a aproximação convencional.

De acordo com uma modalidade exemplar ilustrada na figura 9, um procedimento de junção de desconvolução inclui uma etapa 900 de definição de um volume  $V = [x_{\min}, x_{\max}] \times [y_{\min}, y_{\max}] \times [z_{\min}, z_{\max}]$  e uma etapa 902 de definição de um comprimento  $Dz$  que depende de uma separação máxima entre um evento e sua imagem dupla. Adicionalmente, o procedimento inclui uma etapa 904 de cálculo de  $g_{\min}(z)$ ,  $g_{\max}(z)$  e  $r(x, y, z)$  por consideração que  $r$  está sendo definido no volume  $V$ ,  $g_{\min}(z)$  no intervalo  $[0, Dz]$  com uma normalização  $g_{\min}(z = 0) = 1$ ,  $g_{\max}(z)$  no intervalo  $[-Dz, 0]$  com uma normalização  $g_{\max}(z = 0) = 1$ . A etapa de cálculo 904 é alcançada pela minimização de uma função de custo  $C$  definida por:

$$C = \sum_{(x,y,z) \in V} \{ [d_1(x, y, z) - g_{\min}(z)*r(x, y, z)]^2 + [d_2(x, y, z) - g_{\max}(z)*r(x, y, z)]^2 \}.$$

A refletividade  $r(x, y, z)$  está sendo calculada sobre um volume total de interesse por justaposição do  $r(x, y, z)$  calculado no volume  $V$  com

uma zona de sobreposição. É também possível usar as características da fase mínima de  $g_{\min}(z)$  e da fase máxima de  $g_{\max}(z)$ . Baseado no  $r$  calculado, uma imagem final é gerada na etapa 906.

Outra modalidade exemplar inclui substituição das funções  $g_{\min}(z)$  e  $g_{\max}(z)$  que dependem somente no "z" com funções tridimensionais  $g_{\min}(x, y, z)$  e  $g_{\max}(x, y, z)$  que são causais em z e anticausais em z, respectivamente. Em adição, a convolução de uma dimensão em z pode ser substituída por uma convolução tridimensional. Esta modalidade torna possível levar em conta a dependência das imagens duplas residuais dos ângulos de onda de propagação.

Em ainda outra modalidade exemplar, que também torna possível levar em conta a dependência das imagens duplas residuais nos ângulos de propagação, uma transformada denominada a  $(\tau, p_x, p_y)$ , transformada é aplicada a  $d_1(x, y, z)$  e  $d_2(x, y, z)$ , que transforma os dados  $d_1(x, y, z)$  em  $D_1(p_x, p_y, \tau)$  e os dados  $d_2(x, y, z)$  em  $D_2(p_x, p_y, \tau)$ . Uma definição da transformada  $(\tau, p_x, p_y)$ , também denominada "empilhamento inclinado" pode ser encontrada, por exemplo, em *Seismic Data Processing*, Ozdogan Yilmaz, Society of Exploration Geophysicists 1987, capítulo 7, página 429, ou na Patente U.S. No. 6.574.567, os conteúdos totais da qual são incorporados aqui por referência.

Em seguida, para todos os valores  $(p_x, p_y)$ , as imagens duplas residuais  $G_{\min}(p_x, p_y)(\tau)$  e  $G_{\max}(p_x, p_y)(\tau)$  são calculadas assumindo-se serem respectivamente causal e anticausal em  $\tau$ , fase mínima e máxima em  $\tau$ , e uma refletividade  $R(p_x, p_y, \tau)$  tal que:

$$C(p_x, p_y) = \sum \{ [D_1(p_x, p_y, \tau) - G_{\min}(p_x, p_y)(\tau) * R(p_x, p_y, \tau)]^2 + [D_2(p_x, p_y, \tau) - G_{\max}(p_x, p_y)(\tau) * R(p_x, p_y, \tau)]^2 \}$$

é um mínimo para todo  $(p_x, p_y)$ , a operação "\*" sendo neste caso uma convolução em  $\tau$ . A imagem com retirada de imagem dupla, isto é, a refletividade  $r(x, y, z)$ , é obtida pelo cálculo do inverso de  $R(p_x, p_y, \tau)$  com a transformação  $(\tau, p_x, p_y)$ .

Na descrição acima, as migrações usadas são migrações de profundidade para as imagens  $d_1(x, y, z)$  e  $d_2(x, y, z)$ . O procedimento de

junção de desconvolução pode também ser usado com imagens resultantes de migrações de tempo. No caso de uma migração de tempo, a imagem  $d(x, y, \tau)$  tem um parâmetro temporal  $\tau$  substituindo o parâmetro de profundidade  $z$ . Para a migração de tempo, um modelo de velocidade  $v_1(x, y, \tau)$  é usado para realização da soma coerente dos eventos primários. O equivalente para um processamento de migração de tempo de espelho é uma migração onde, após mudança da polaridade dos dados de admissão, uma velocidade  $v_2(x, y, \tau)$  é usada para realização de uma soma coerente dos eventos de imagem dupla. Em seguida, uma junção de desconvolução pode ser aplicada para calcular a imagem final da sub-superfície e a junção de desconvolução é descrita por:

$$d_1(x, y, \tau) = g_{\min(\tau)} * r(x, y, \tau) \text{ e } d_2(x, y, \tau) = g_{\max(\tau)} * r(x, y, \tau).$$

A etapa de junção de desconvolução pode ser generalizada para desconvolução de mais do que dois conjuntos de dados, particularmente no caso onde os receptores são de tipos diferentes. Por exemplo, se receptores sensíveis à pressão tais como receptores de hidrofone e geofone são usados juntos na mesma flâmula ou em flâmulas diferentes, uma desconvolução mais complexa é necessária para obtenção da imagem final. Por exemplo, assume-se que o resultado da migração é  $d_1(x, y, z)$  e o resultado da migração de espelho é  $d_2(x, y, z)$  para receptores tipo hidrofone e o resultado da migração é  $d_3(x, y, z)$  e o resultado da migração de espelho é  $d_4(x, y, z)$  para geofones. A migração de espelho de dados de geofone é alcançada por inserção dos registros de cada receptor (geofone) em suas posições de espelho  $(x_r, y_r, -z_r)$ , mas sem mudança do sinal para um geofone vertical e com um sinal mudado para um receptor de geofone horizontal.

A junção de desconvolução com quatro admissões é obtida por modelagem das migrações e migrações de espelho com as seguintes equações:

$$\begin{aligned} d_1(x, y, z) &= g_{\min}^h(z) * r(x, y, z); \\ d_2(x, y, z) &= g_{\max}^h(z) * r(x, y, z); \\ d_3(x, y, z) &= g_{\min}^g(z) * c(z) * r(x, y, z); \text{ e} \\ d_4(x, y, z) &= g_{\max}^g(z) * c(z) * r(x, y, z). \end{aligned}$$

Em seguida, pelo uso de função de custo tipo mínimos quadrados, os operadores causal e de fase mínima  $g^h_{\min}(z)$  e  $g^g_{\min}(z)$ , os operadores anticausal e de fase máxima  $g^h_{\max}(z)$  e  $g^g_{\max}(z)$ , o operador de calibração  $c(z)$ , bem como a refletividade  $r(x, y, z)$  podem ser determinados a partir das migrações e imagens de migrações de espelho  $d_1(x, y, z)$ ,  $d_2(x, y, z)$ ,  $d_3(x, y, z)$  e  $d_4(x, y, z)$ .

A função de custo pode ser pesada de modo a levar em conta o espectro de ruído diferente dos sensores de hidrofone e dos sensores de geofone. Por exemplo, na migração de tempo, a função de custo a ser minimizada é escrita no domínio  $f$ , a transformada de Fourier de  $\tau$ :

$$C = \sum \{ [d_1(x, y, f) - g^h_{\min}(f) \cdot r(x, y, f)]^2 / B^h(f) + [d_2(x, y, f) - g^h_{\max}(f) \cdot r(x, y, f)]^2 / B^h(f) + [d_3(x, y, f) - g^g_{\min}(f) \cdot c(f) \cdot r(x, y, f)]^2 / B^g(f) + [d_4(x, y, f) - g^g_{\max}(f) \cdot c(f) \cdot r(x, y, f)]^2 / B^g(f) \}$$

onde  $B^h(f)$  e  $B^g(f)$  são estimativas do espectro de energia do ruído de hidrofone e geofone, respectivamente.

Os procedimentos descritos acima não são limitados ao processamento de dados adquiridos usando-se flâmulas lineares com uma inclinação constante conforme mostrado na figura 1. Os procedimentos acima discutidos são também aplicáveis a dados adquiridos usando-se flâmulas cada uma tendo várias seções com inclinações diferentes, ou flâmulas tendo uma ou mais seções inclinadas e uma ou mais seções horizontais, ou flâmulas horizontais localizadas em profundidades diferentes ou flâmulas tendo um perfil curvo.

Os procedimentos acima discutidos e métodos podem ser implementados em um aparelho de processamento ilustrado na figura 10. Hardware, firmware, software ou uma combinação destes podem ser usados para realizar as várias etapas e operações aqui descritas. O aparelho de processamento 1000 da figura 10 é uma estrutura de computação exemplar que pode ser usada em conjunto com tal sistema.

O aparelho de processamento exemplar 1000 adequado para realização das atividades descritas nas modalidades exemplares pode incluir

um servidor 1001. Tal servidor 1001 pode incluir um processador central (CPU) 1002 acoplado a uma memória de acesso aleatória (RAM) 1004 e a uma memória de somente leitura (ROM) 1006. A ROM 1006 pode também ser outros tipos de meio de armazenagem para armazenar programas, tais como ROM programável (PROM), PROM apagável (EPROM), etc. O processador 1002 pode se comunicar com outros componentes interno e externo através do circuito de admissão/descarga (I/O) 1008 e barras coletoras 1010, para proporcionar sinais de controle e similares. O processador 1002 efetua uma variedade de funções conforme é conhecido na técnica, conforme representado pelas instruções do software e/ou firmware.

O servidor 1001 pode também incluir um ou mais dispositivos de armazenagem de dados, incluindo drives rígidos e drives de disco rígido 1012, drives de CD-ROM 1014, e outros hardwares capazes de ler e/ou armazenar informação tal como DVD, etc. Em uma modalidade, o software para efetuar as etapas acima discutidas pode ser armazenado e distribuído em um CD-ROM 1016, disquete 1018 ou outra forma de meio capaz de armazenar portatilmente a informação. Este meio de armazenagem pode ser inserido em, e lido por dispositivos tais como o drive de CD-ROM 1014, o drive de disquete 1012, etc. O servidor 1001 pode ser acoplado a um mostrador 1020, que pode ser qualquer tipo de mostrador conhecido ou tela de apresentação, tais como mostradores de LCD, mostrador de plasma, tubos de raio de catodo (CRT), etc. Uma interface de admissão de usuário 1022 é provida, incluindo um ou mais mecanismos de interface de usuário tais como um mouse, teclado, microfone, almofada de toque, tela de toque, sistema de reconhecimento de voz, etc.

O servidor 1001 pode ser acoplado a outros dispositivos, tais como fontes, detectores, etc. O servidor pode ser parte de uma configuração de rede maior como em uma rede de área global (GAN) tal como a Internet 1028, que permite conexão por último a várias linhas terrestres e/ou dispositivos de computação móveis.

De acordo com uma modalidade exemplar ilustrada na figura 11, existe um método para retirada de imagem dupla de dados sísmicos relacio-

nados a uma sub-superfície de um corpo de água. O método inclui uma etapa 1100 de admitir dados registrados por detectores que são rebocados por um vaso, os dados sendo associados com ondas que se deslocam a partir da sub-superfície aos detectores; uma etapa 1102 de aplicar um procedimento de migração para os dados para determinar uma primeira imagem da sub-superfície; uma etapa 1104 de aplicar um procedimento de migração de espelho aos dados para determinar uma segunda imagem da sub-superfície; uma etapa 1106 de junção de desconvolução da primeira imagem e da segunda imagem para retirada de imagem dupla da refletividade da sub-superfície; e uma etapa 1108 de gerar uma imagem final da sub-superfície baseada na refletividade com retirada de imagem dupla da etapa de junção de desconvolução.

As modalidades exemplares reveladas proporcionam um aparelho e um método para processamento de dados sísmicos. Deve ser compreendido que esta descrição não é pretendida para limitar a invenção. Ao contrário, as modalidades exemplares são pretendidas para cobrir alternativas, modificações e equivalentes, que são incluídos no espírito e escopo da invenção conforme definida pelas reivindicações em anexo. Adicionalmente, na descrição detalhada das modalidades exemplares, detalhes específicos numerosos são colocados de modo a proporcionar um entendimento compreensivo da invenção reivindicada. Contudo, um técnico no assunto compreenderia que várias modalidades podem ser praticadas sem tais detalhes específicos.

Embora as características e elementos das presentes modalidades exemplares sejam descritos nas modalidades em combinações particulares, cada característica ou elemento pode ser usado sozinho sem as outras características e elementos das modalidades, ou em várias combinações com ou sem outras características e elementos aqui revelados.

Esta descrição escrita usa exemplos da matéria-objeto revelada para capacitar qualquer técnico no assunto a praticar a mesma, incluindo produção e uso de quaisquer dispositivos ou sistemas, e realização de quaisquer métodos incorporados. O escopo patenteável da matéria-objeto é

definido pelas reivindicações, e pode incluir outros exemplos que ocorrem àqueles técnicos no assunto. Tais outros exemplos são pretendidos estarem dentro do escopo das reivindicações.

## REIVINDICAÇÕES

1. Método para retirar imagem dupla de dados sísmicos relacionados a uma sub-superfície de um corpo de água, o método compreendendo:

5 admitir (1100) dados registrados por detectores que são rebocados por um vaso, os dados sendo associados com ondas que se deslocam da sub-superfície para os detectores;

aplicar (1102) um procedimento de migração aos dados para determinar uma primeira imagem (d1) da sub-superfície;

10 aplicar (1104) um procedimento de migração de espelho aos dados para determinar uma segunda imagem (d2) da sub-superfície;

juntar (1106) a desconvolução da primeira imagem (d1) e da segunda imagem (d2) para retirada de imagem dupla de uma refletividade da sub-superfície; e

15 gerar (1108) em um processador uma imagem final (d) da sub-superfície baseada na refletividade com retirada de imagem dupla da etapa de junção de desconvolução.

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, em que a retirada de imagem dupla é realizada durante uma fase de imagem e não em uma fase de pré-processamento.

20 3. Método, de acordo com a reivindicação 1, em que nenhuma etapa de formação de dados é realizada nos dados.

4. Método, de acordo com a reivindicação 1, em que um ângulo de deslocamento das ondas que se propagam a partir da sub-superfície para os detectores, ou de uma superfície da água para os detectores, não é restrito.

5. Método, de acordo com a reivindicação 1, em que os dados são coletados de flâmulas tendo um perfil curvo.

30 6. Método, de acordo com a reivindicação 1, em que a junção de desconvolução compreende:

determinar a refletividade  $r(x, y, z)$ , uma função de transferência de fase mínima  $g_{\min}(z)$ , e uma função de transferência de fase máxima

$g_{\text{máx}}(z)$  baseada nas equações:

$$d_1(x, y, z) = g_{\text{mín}}(z) \cdot r(x, y, z), \text{ e}$$

$$d_2(x, y, z) = g_{\text{máx}}(z) \cdot r(x, y, z),$$

em que  $z$  é uma profundidade de um ponto relativa à superfície da água, e  $x$  e  $y$  são coordenadas do ponto em uma fase substancialmente paralela com a superfície da água.

7. Método, de acordo com a reivindicação 1, em que a junção de desconvolução compreende:

calcular uma função de custo  $C$  para determinação da refletividade, no qual a função de custo  $C$  é dada por:

$$C = \sum_{(x,y,z) \in V} \{ [d_1(x, y, z) - g_{\text{mín}}(z) \cdot r(x, y, z)]^2 + [d_2(x, y, z) - g_{\text{máx}}(z) \cdot r(x, y, z)]^2 \},$$

onde  $d_1(x, y, z)$  é a primeira imagem,  $d_2(x, y, z)$  é a segunda imagem,  $g_{\text{mín}}(z)$  é uma função de transferência de fase mínima,  $g_{\text{máx}}(z)$  é uma função de transferência de fase máxima,  $z$  é uma profundidade de um ponto relativa à superfície da água,  $x$  e  $y$  são coordenadas do ponto em um plano substancialmente paralelo com a superfície da água, e  $V$  é um volume pre-determinado.

8. Método, de acordo com a reivindicação 1, compreendendo adicionalmente:

aplicar uma transformação  $(\tau, p_x, p_y)$  a  $d_1(x, y, z)$  e  $d_2(x, y, z)$ , para transformar a primeira imagem  $d_1(x, y, z)$  em  $D_1(p_x, p_y, \tau)$  e os dados  $d_2(x, y, z)$  em  $D_2(p_x, p_y, \tau)$ .

9. Método, de acordo com a reivindicação 1, em que os dados incluem registros de hidrofones e geofones.

10. Método, de acordo com a reivindicação 9, em que um resultado do procedimento de migração é  $d_1(x, y, z)$  e um resultado do procedimento de migração de espelho é  $d_2(x, y, z)$  para receptores tipo hidrofone e um resultado do procedimento de migração é  $d_3(x, y, z)$  e um resultado do procedimento de migração de espelho é  $d_4(x, y, z)$  para geofones.

11. Método, de acordo com a reivindicação 10, compreendendo adicionalmente:

geração da imagem final usando uma junção de desconvolução de  $d_1(x, y, z)$ ,  $d_2(x, y, z)$ ,  $d_3(x, y, z)$ , e  $d_4(x, y, z)$  e baseada nas seguintes equações:

$$\begin{aligned} d_1(x, y, z) &= g_{\min}^h(z) * r(x, y, z); \\ d_2(x, y, z) &= g_{\max}^h(z) * r(x, y, z); \\ d_3(x, y, z) &= g_{\min}^g(z) * c(z) * r(x, y, z); \text{ e} \\ d_4(x, y, z) &= g_{\max}^g(z) * c(z) * r(x, y, z), \end{aligned}$$

onde  $g_{\min}^h$  e  $g_{\min}^g$  são funções de transferência de fase mínima,  $g_{\max}^h(z)$  e  $g_{\max}^g(z)$  são funções de transferência de fase máxima,  $z$  é uma profundidade de um ponto relativa à superfície da água,  $x$  e  $y$  são coordenadas do ponto em um plano substancialmente paralelo com a superfície da água, e  $c(z)$  é um operador de calibração.

12. Dispositivo de processamento (1000) para retirada de imagem dupla de dados sísmicos relacionados a uma sub-superfície de um corpo de água, o dispositivo de processamento (1000) compreendendo:

uma interface (1010) configurada para receber dados registrados por detectores que são rebocados por um vaso, os dados sendo associados com ondas que se deslocam a partir da sub-superfície para os detectores; e um processador (1002) conectado à interface (1010) e configurado para,

aplicar um procedimento de migração aos dados para determinar uma primeira imagem da sub-superfície,

aplicar um procedimento de migração de espelho aos dados para determinar uma segunda imagem da sub-superfície,

juntar a desconvolução da primeira imagem e da segunda imagem para retirada de imagem dupla de uma refletividade da sub-superfície, e gerar uma imagem final da sub-superfície baseada na refletividade de retirada de imagem dupla da etapa de junção de desconvolução.

13. Dispositivo de processamento, de acordo com a reivindicação 12, em que o processador é configurado para:

determinar a refletividade  $r(x, y, z)$ , uma função de transferência de fase mínima  $g_{\min}^h(z)$ , e uma função de transferência de fase máxima

$g_{\text{máx}}(z)$  baseados nas equações:

$$d_1(x, y, z) = g_{\text{mín}}(z) \cdot r(x, y, z), \text{ e}$$

$$d_2(x, y, z) = g_{\text{máx}}(z) * r(x, y, z),$$

em que  $z$  é uma profundidade de um ponto relativa à superfície da água, e  $x$  e  $y$  são coordenadas do ponto em um plano substancialmente paralelo com a superfície da água.

14. Dispositivo de processamento, de acordo com a reivindicação 12, em que um resultado do procedimento de migração é  $d_1(x, y, z)$  e um resultado do procedimento de migração de espelho é  $d_2(x, y, z)$  para receptores tipo hidrofone e um resultado do procedimento de migração é  $d_3(x, y, z)$  e um resultado do procedimento de migração de espelho é  $d_4(x, y, z)$  para geofones.

15. Dispositivo de processamento, de acordo com a reivindicação 14, em que o processador é adicionalmente configurado para: gerar a imagem final usando uma junção de desconvolução de  $d_1(x, y, z)$ ,  $d_2(x, y, z)$ ,  $d_3(x, y, z)$ , e  $d_4(x, y, z)$  e baseada nas seguintes equações:

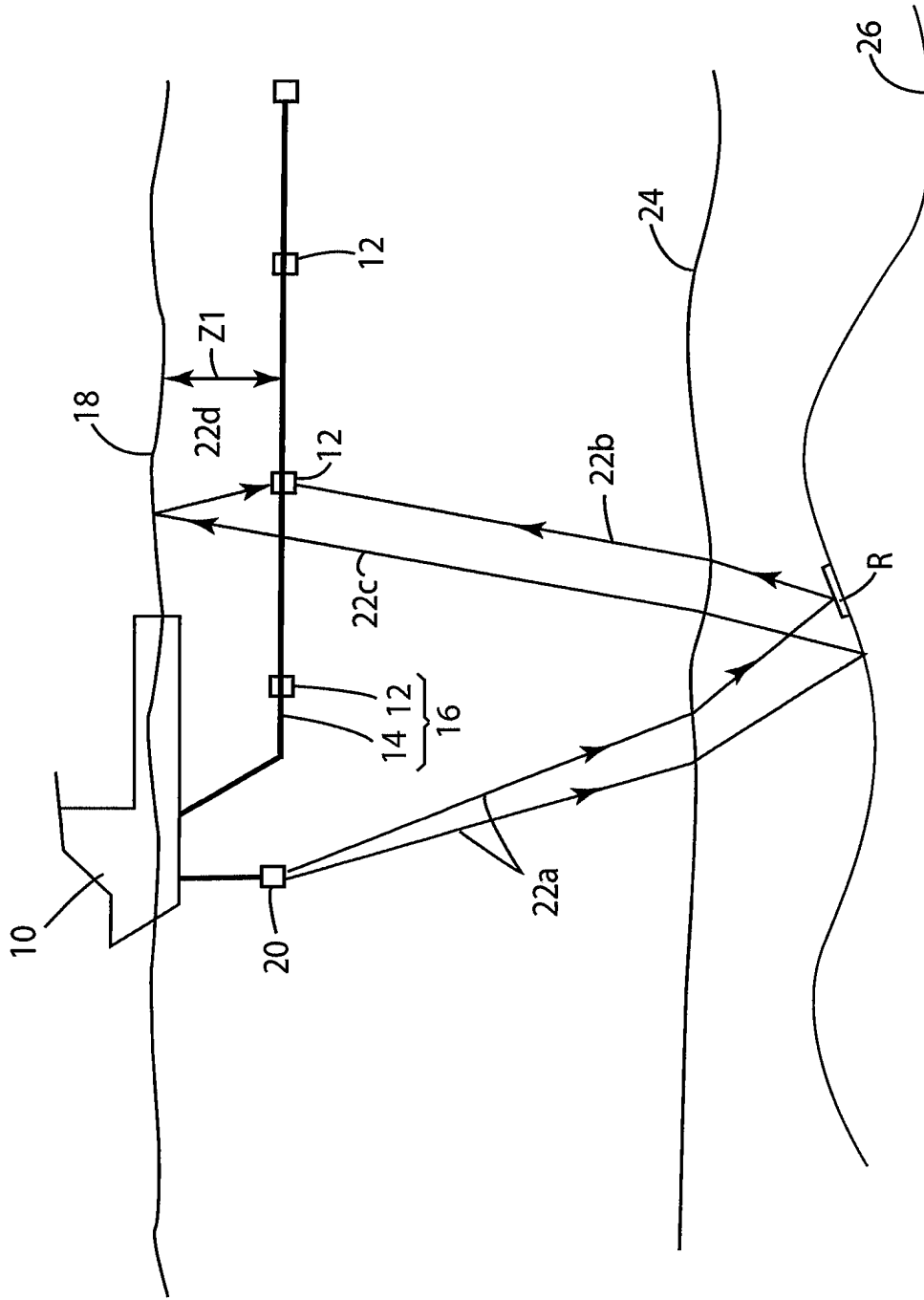
$$d_1(x, y, z) = g_{\text{mín}}^h(z) * r(x, y, z);$$

$$d_2(x, y, z) = g_{\text{máx}}^h(z) * r(x, y, z);$$

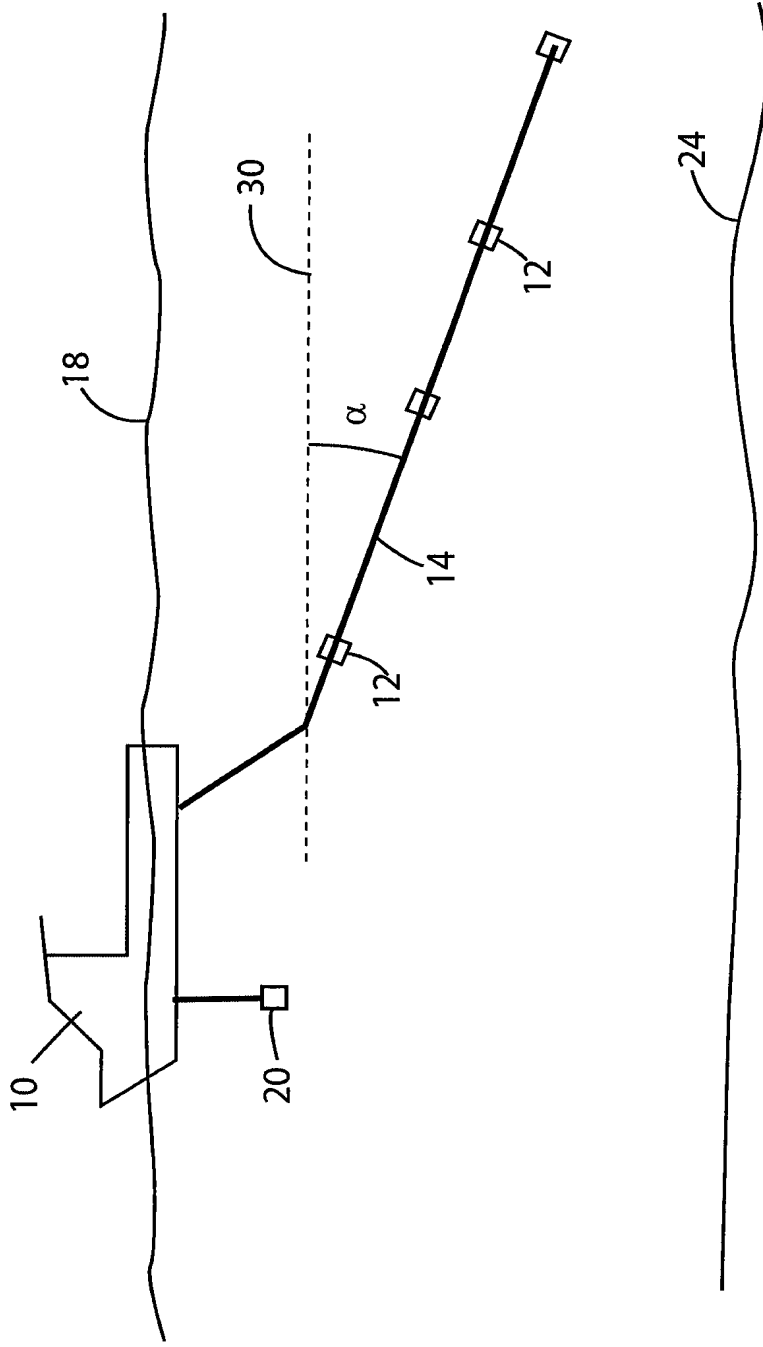
$$d_3(x, y, z) = g_{\text{mín}}^g(z) * c(z) * r(x, y, z); \text{ e}$$

$$d_4(x, y, z) = g_{\text{máx}}^g(z) * c(z) * r(x, y, z),$$

onde  $g_{\text{mín}}^h$  e  $g_{\text{máx}}^h$  são funções de transferência de fase mínima,  $g_{\text{máx}}^h(z)$  e  $g_{\text{máx}}^g(z)$  são funções de transferência de fase máxima,  $z$  é uma profundidade de um ponto relativa à superfície da água,  $x$  e  $y$  são coordenadas do ponto em um plano substancialmente paralelo com a superfície da água, e  $c(z)$  é um operador de calibração.



**FIG. 1**  
(Técnica Anterior)



**FIG. 2**  
(Técnica Anterior)

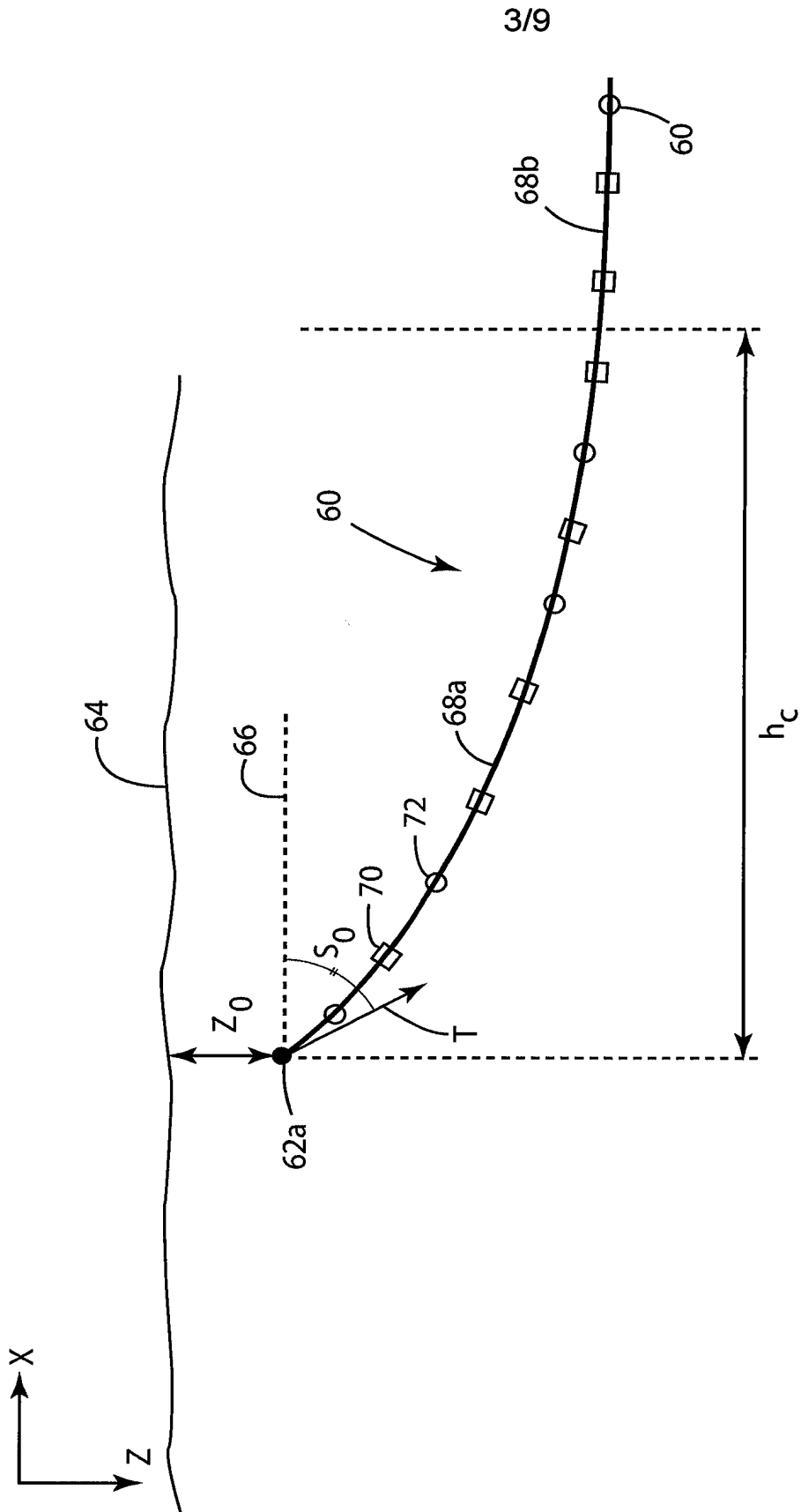


FIG. 3

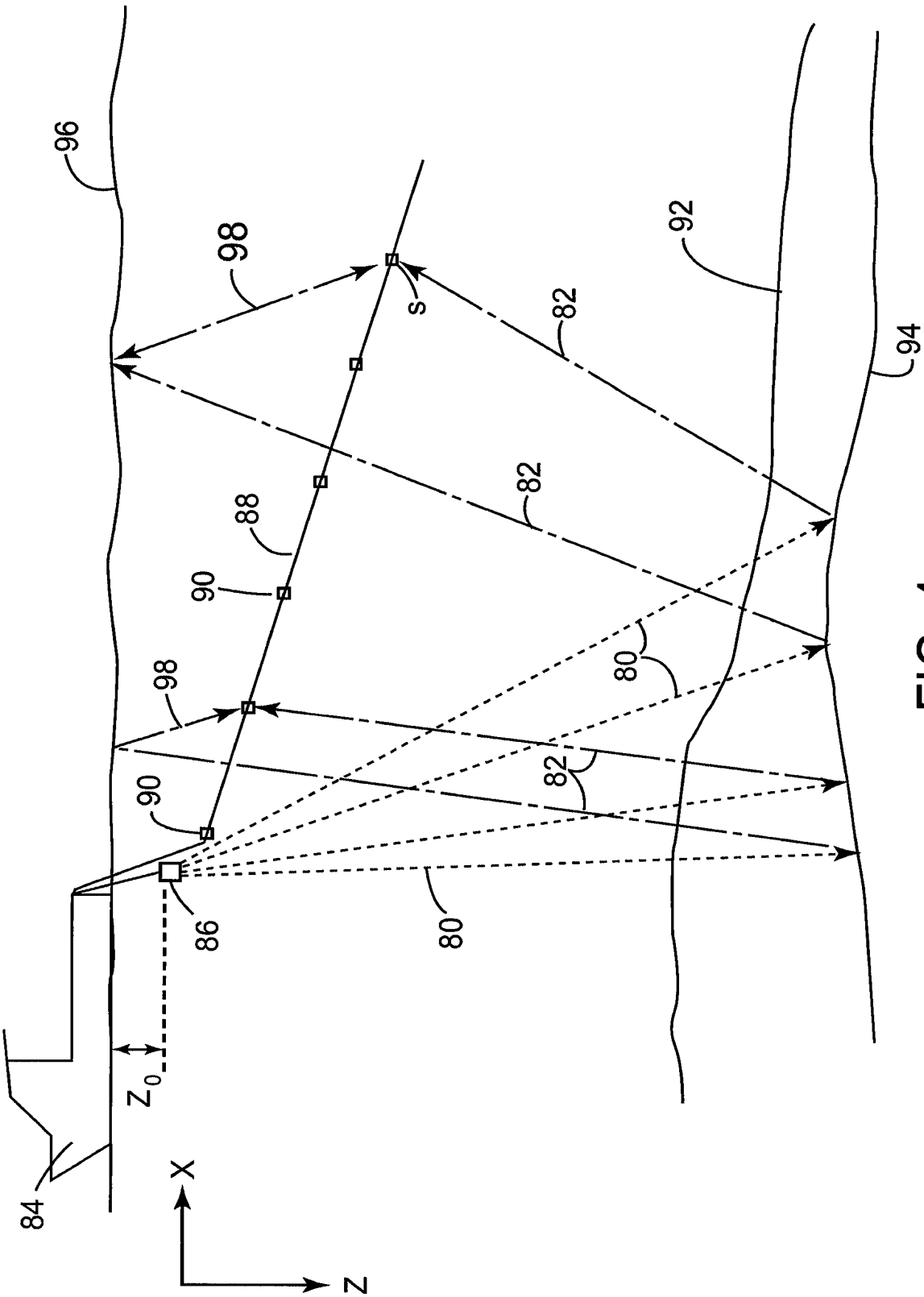


FIG. 4

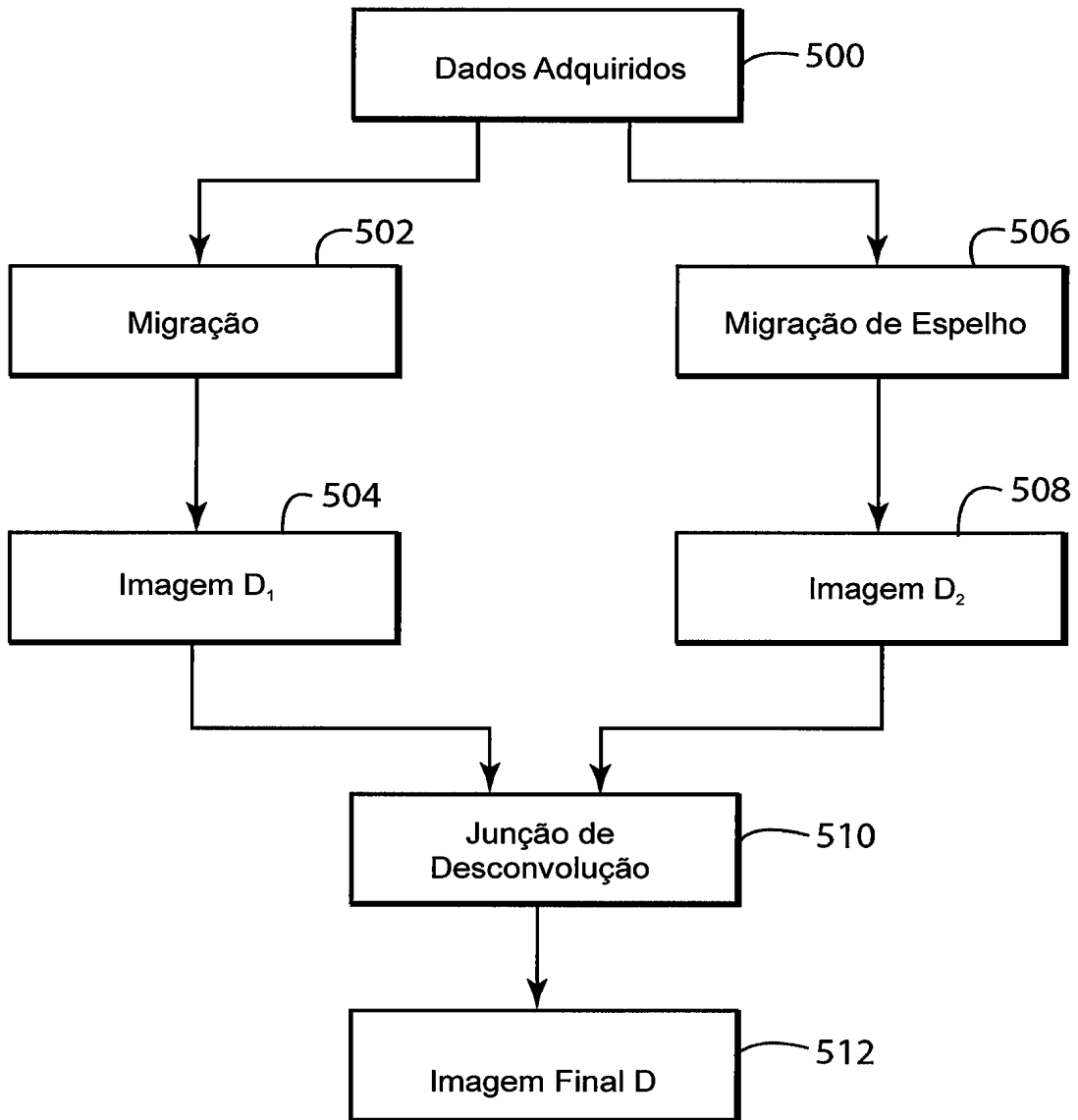


FIG. 5

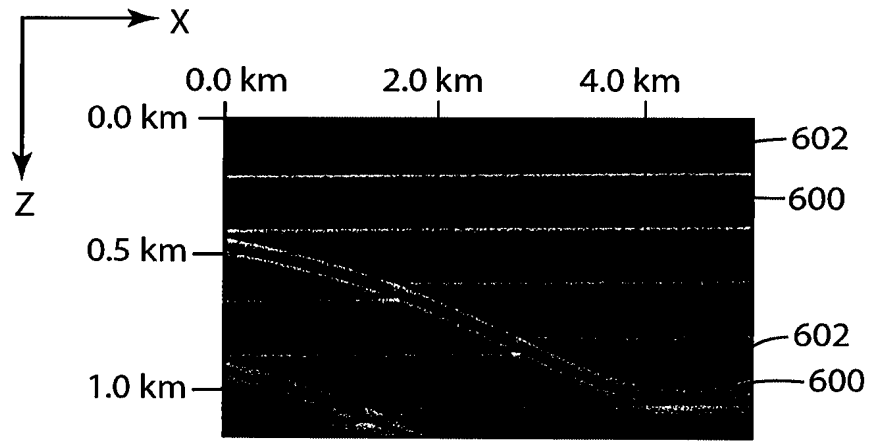


FIG. 6

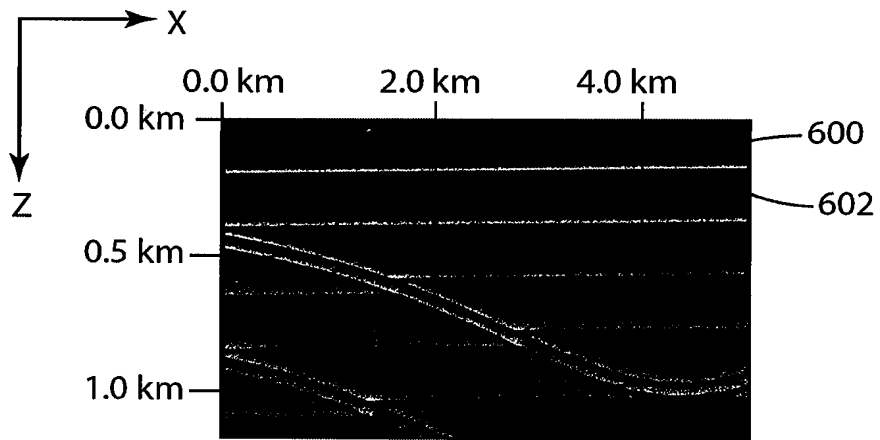


FIG. 7

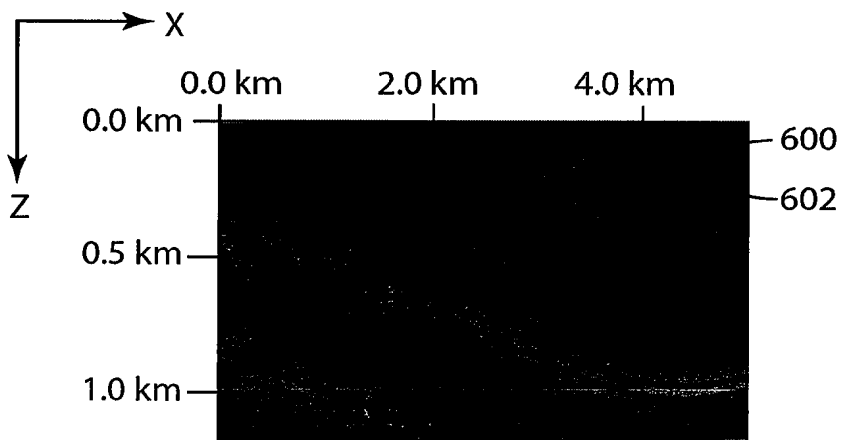


FIG. 8

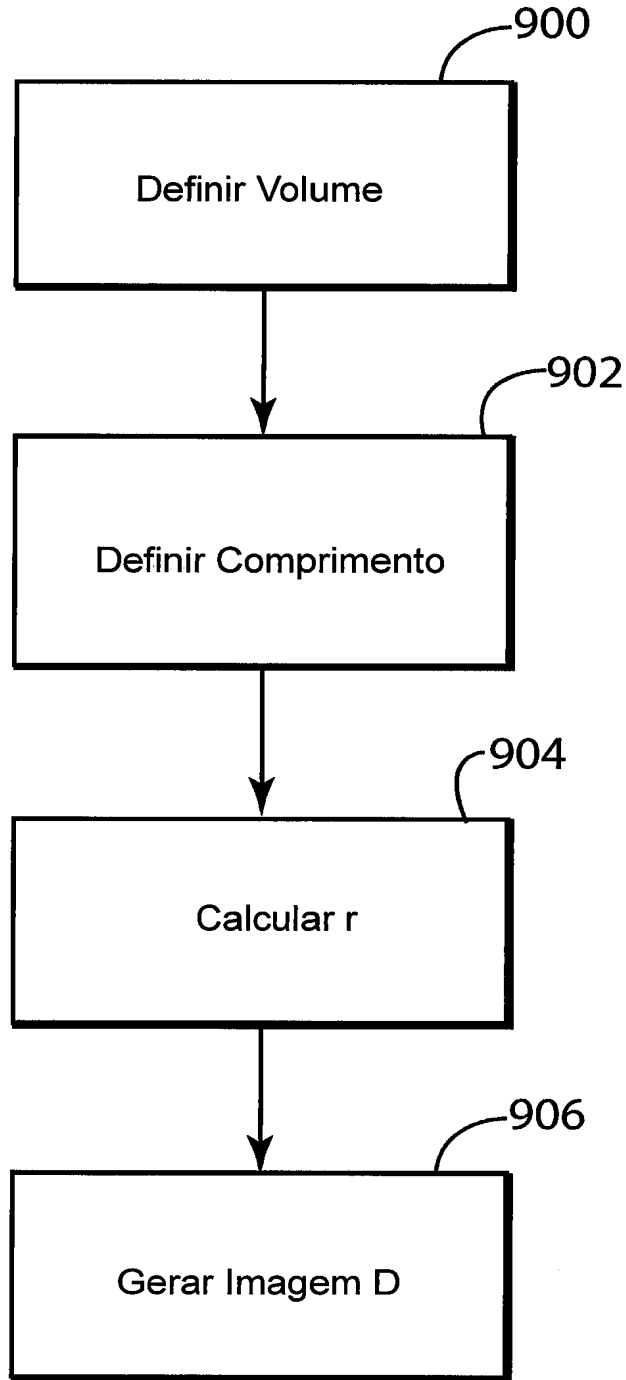


FIG. 9

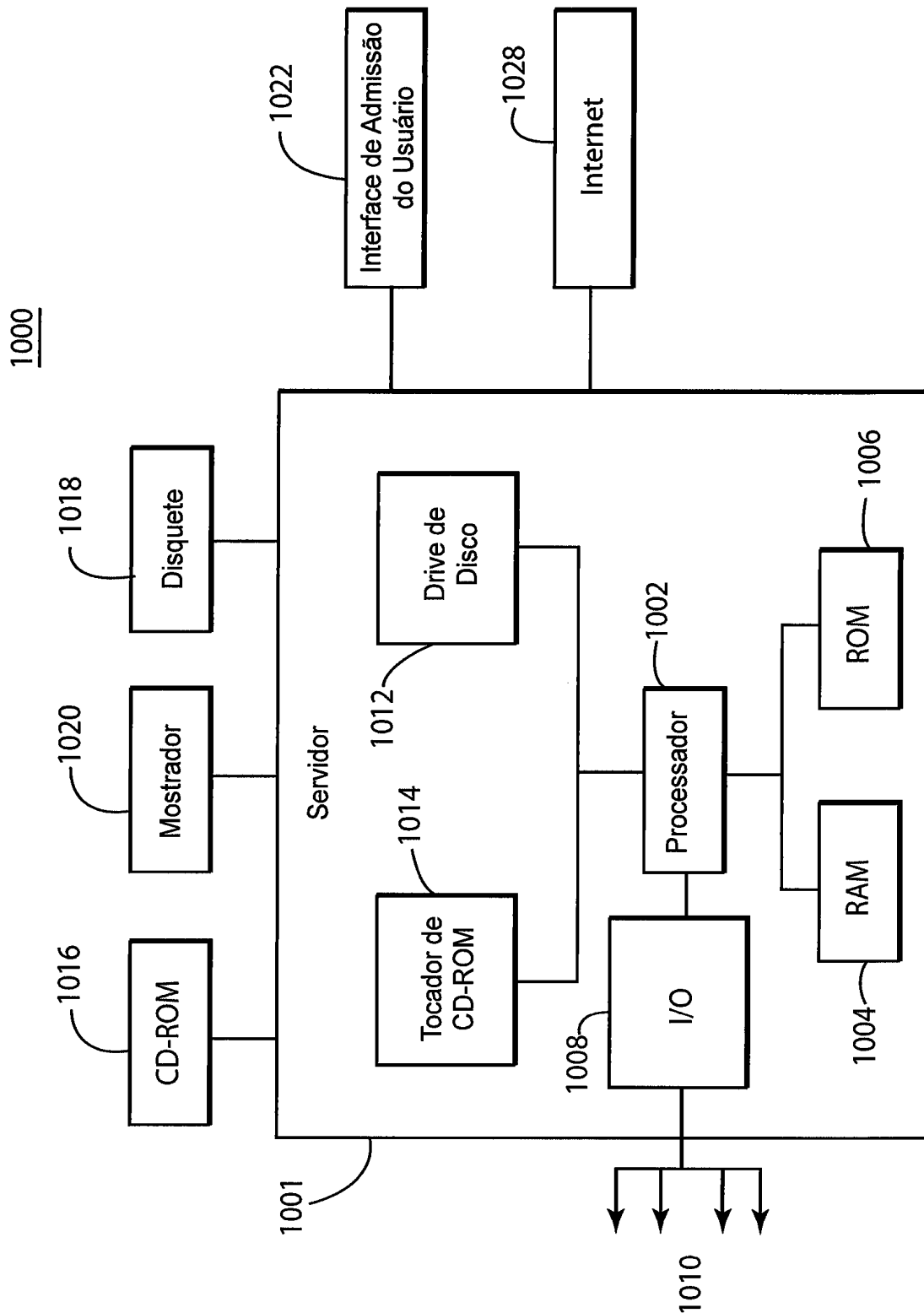


FIG. 10

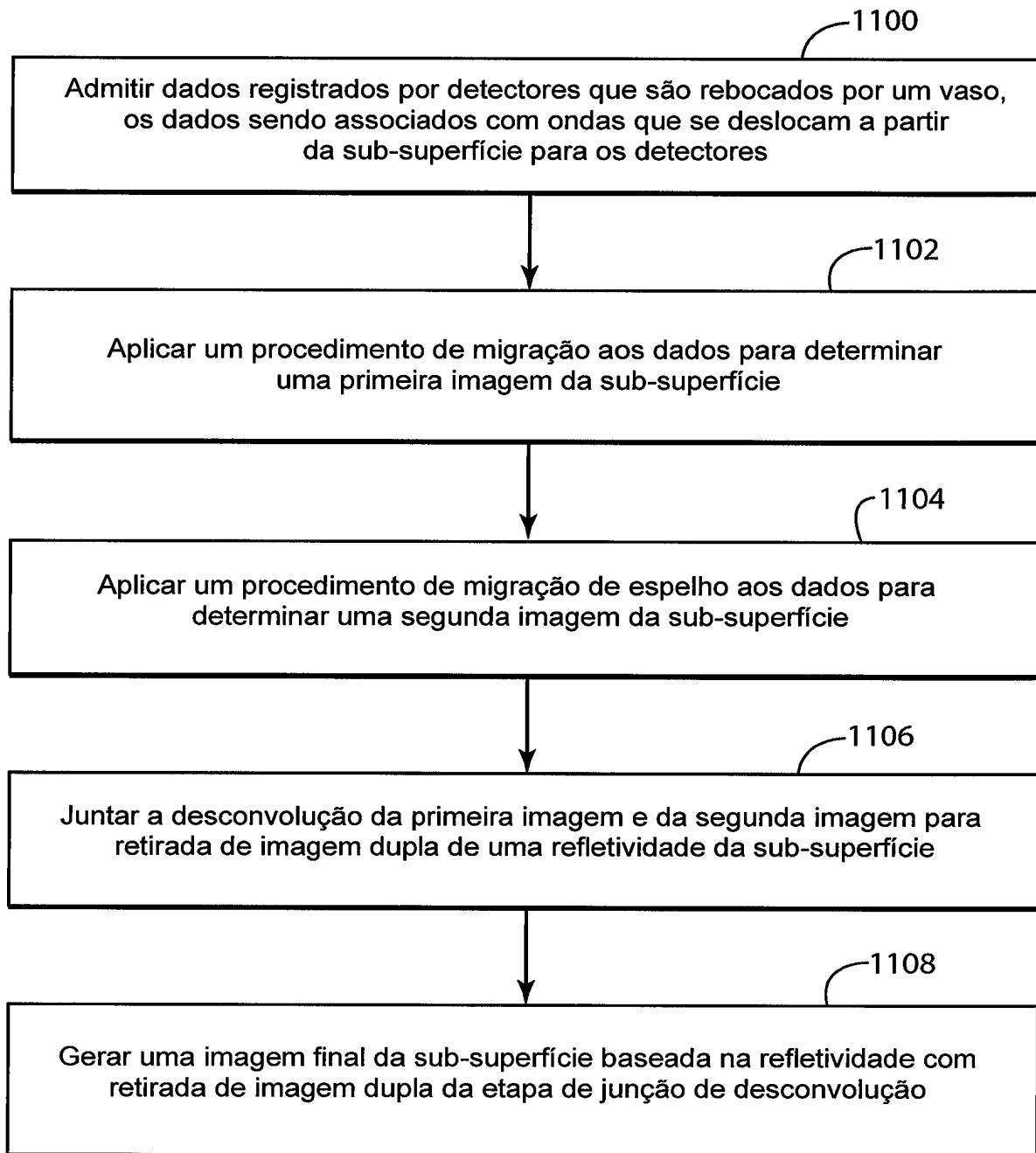


FIG. 11

**RESUMO**

Patente de Invenção: **"MÉTODO E APARELHO PARA RETIRADA DE IMAGEM DUPLA DE DADOS SÍSMICOS"**.

A invenção refere-se a um aparelho, instruções de computador e  
5 método para retirada de imagem dupla de dados sísmicos relacionados a  
uma sub-superfície de um corpo de água. O método inclui admitir dados re-  
gistrados por detectores que são rebocados por um vaso, os dados sendo  
associados com ondas que se deslocam a partir da sub-superfície para os  
detectores; aplicar um procedimento de migração aos dados para determinar  
10 uma primeira imagem da sub-superfície; aplicar um procedimento de migra-  
ção de espelho aos dados para determinar uma segunda imagem da sub-  
superfície; juntar a desconvolução da primeira imagem e da segunda ima-  
gem para retirada de imagem dupla de uma refletividade da sub-superfície; e  
gerar uma imagem final da sub-superfície baseada na refletividade de retira-  
15 da de imagem dupla da etapa de junção de desconvolução.