



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

(21) **PI0711862-7 A2**

(22) Data de Depósito: 16/05/2007
(43) Data da Publicação: 29/11/2011
(RPI 2134)



(51) *Int.Cl.:*
G01V 3/12

(54) Título: MÉTODO PARA PROSPECÇÃO GEOFÍSICA ELETROMAGNÉTICA DE FORMAÇÕES ROCHOSAS SOB UM FUNDO DE MAR

(30) Prioridade Unionista: 24/05/2006 NO 20062365

(73) Titular(es): Norsk Hydro ASA

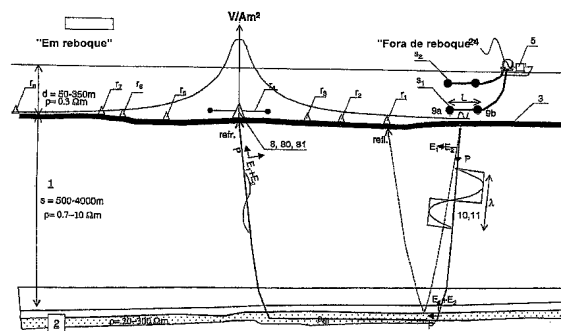
(72) Inventor(es): Brian Anthony Farrelly, Svein Erling Johnstad

(74) Procurador(es): Momsen, Leonardos & CIA.

(86) Pedido Internacional: PCT NO2007000175 de 16/05/2007

(87) Publicação Internacional: WO 2007/136276de 29/11/2007

(57) Resumo: MÉTODO PARA PROSPECÇÃO GEOFÍSICA ELETROMAGNÉTICA DE FORMAÇÕES ROCHOSAS SOB UM FUNDO DE MAR. Um método para prospecção geofísica eletromagnética de formações rochosas (1) sob um fundo de mar (3) incluindo as etapas seguintes: rebocar primeira e segunda fontes emissoras (S_1, S_2) de campo alternado (E_1, E_2) em primeira e segunda profundidades abaixo da superfície de mar, dito primeiro campo E_1 tendo uma primeira fase (ϕ_1); dito segundo campo alternado (E_2) dado uma segunda fase (ϕ_2) diferente de dita primeira fase (ϕ_1), ditas fontes (S_1, S_2) constituindo uma antena de emissor de arranjo faseado com directividade para transmitir uma proporção principal da energia eletromagnética combinada para baixo; dito primeiro e segundo campos (E_1, E_2) para se propagar parcialmente abaixo pelo fundo de mar (3) e sendo refletidos e/ou refratados por ditas formações rochosas (1) e se propagando parcialmente de volta pelo fundo de mar (3); dito primeiro e dito segundo campos (E_1, E_2) para se fundir a um campo total e sendo medido por receptores eletromagnéticos (r_1, r_2, \dots, r_n) registrando registros de campo correspondentes ($E_{r1}(t), E_{r2}(t), E_{rn}(t), \dots, E_n(t)$).





“MÉTODO PARA PROSPECÇÃO GEOFÍSICA ELETROMAGNÉTICA DE FORMAÇÕES ROCHOSAS SOB UM FUNDO DE MAR”

A presente invenção relaciona-se a um método para prospecção geofísica eletromagnética de formações rochosas submarina. O método inclui rebocar primeira e segunda fontes emissoras de campo alternado em primeira e segunda profundidades ou elevações acima do fundo de mar, as fontes de transmissor controladas para ter fases e amplitudes diferentes a fim de constituir uma antena de emissor de arranjo faseado com directividade. A directividade é útil para reduzir energia de propagação para cima que conduz a uma onda de cabeça ou "onda de ar", e também para assegurar que uma proporção principal da energia transmitida se propague para baixo nas formações submarinas.

Fundamento da Invenção

As formações rochosas debaixo do fundo de mar são saturadas com água e o fluido de poro salino contém íons, dando às formações rochosas uma alta condutividade elétrica, ou baixa resistividade, $\rho = 0,7^{10} \Omega\text{m}$. Nesta descrição, resistividade será usada, expressa em Ohm-metro, abreviado Ωm . Hidrocarbonetos tais como petróleo e gás substituem água nos espaços de poro de formações rochosas porosas portadoras de petróleo. Petróleo não dissolve sais e assim conduz a uma baixa condutividade elétrica de rochas portadoras de petróleo, correspondendo a uma alta resistividade, $\rho = 20\text{-}300 \Omega\text{m}$, e em alguns casos uma resistividade tão alta quanto $\rho = 1000 \Omega\text{m}$. Porções da formação portadoras de petróleo caso contrário cheia com salmoura como fluido de poro podem não ser distinguíveis eletromagneticamente do terreno. Água de mar contém vários sais dissolvidos e normalmente provê uma resistividade de cerca de $\rho = 0,3 \Omega\text{m}$.

Tais formações rochosas sedimentares portadoras de petróleo potencialmente enterradas são o objetivo da maioria das prospecções geofísicas. Estruturas geológicas podem estar sujeitas a prospecções sísmicas,

por exemplo, sísmica de refração ou reflexão, variação de amplitude com deslocamento, etc., mas porções portadoras de petróleo uma formação rochosa sedimentar nem sempre mostram características sísmicas que são distinguíveis de porções portadoras de água de formações semelhantes que estão sujeitas à análise sísmica.

Fundamento da Técnica no Campo

No seu Pedido de Patente US 2003/0052685, "Method and apparatus for determining the nature of subterranean reservoirs", e um artigo chamado "Remote detection of hydrocarbon filled layers using marine controlled source electromagnetic sounding", EAGE 64° Conference & Exhibition, Florença, Itália, 27-30 maio de 2002, Eidesmo et al., descrevem investigações eletromagnéticas usando um transmissor de dipolo elétrico arranjado horizontalmente e antenas receptoras de dipolo elétrico arranjadas através de um fundo de mar com uma camada de hidrocarboneto enterrada profundamente. As antenas de dipolo de receptor são dois conjuntos de eletrodos ortogonais arranjados horizontalmente. Eidesmo et al., usam informação de fase extraída de uma resposta de onda presumivelmente refratada para determinar se há um reservatório subterrâneo portador de petróleo potencialmente de alta resistividade presente.

Pedido de Patente US 2003/0050759 de Smka e Carazzone relaciona-se a um método de simular emissão de um sinal de uma fonte eletromagnética usando uma ou mais fontes de dipolo. Uma fonte de dipolo está localizada a um local de excitação correspondendo a um segmento da fonte eletromagnética a ser simulada. A fonte eletromagnética virtual inclui um padrão de dipolos distribuídos em um plano horizontal do mar. A fonte de dipolo é ativada, e um sinal eletromagnético é registrado em um ou mais locais de receptor. O processo é repetido para locais de excitação adicionais correspondendo a segmentos adicionais no padrão virtual a ser preenchido pela fonte eletromagnética. Os dados da seqüência de locais de excitação de

fonte de dipolo são processados subseqüentemente para determinar o sinal simulado da fonte eletromagnética.

Um propósito importante do pedido de patente de Smka é usar um arranjo de fonte de dipolo virtual a fim de simular um transmissor circular muito grande para simular focalização da energia eletromagnética no objetivo 5 debaixo do terreno. O método de Smka não provê uma solução para o problema de ondas eletromagnéticas propagadas no ar. Muita da energia eletromagnética emitida da antena se propagará para cima para a superfície de mar e se propagará pelo ar. Alguma da energia de propagação para cima 10 emitida da antena também refletirá da superfície de mar e manchará o sinal transmitido inicialmente. Há uma necessidade para reduzir o sinal eletromagnético transmitido para cima. Também há uma necessidade prevacente para produzir um sinal eletromagnético mais forte para se propagar para baixo da antena de transmissor e pelo fundo de mar para se 15 propagar pelas formações rochosas a serem prospectadas.

Breve Sumário da invenção

Algumas das desvantagens da técnica de fundamento podem ser reduzidas significativamente por qualquer uma de duas concretizações alternativas da presente invenção:

20 - uma primeira concretização da invenção emprega um arranjo de antena de transmissor real incluindo pelo menos duas antenas de transmissor;

- uma segunda e concretização alternativa da invenção emprega um arranjo de antena virtual incluindo pelo menos duas prospecções 25 de reboque de uma antena de transmissor.

A primeira alternativa materialmente real da invenção é um método para prospecção geofísica eletromagnética de formações rochosas debaixo de um fundo de mar, incluindo as etapas seguintes:

- rebocar primeira e segunda fontes emissoras s_1 , s_2 de campo

eletromagnético alternado E_1 , E_2 em primeira e segunda profundidades ou elevações h_1 , h_2 acima do fundo de mar 3,

- dito primeiro campo E_1 tendo uma primeira fase ϕ_1 e amplitude A_1 ;

5 - dito segundo campo alternado E_2 dada uma segunda fase ϕ_2 e amplitude A_2 diferente de dita primeira fase ϕ_1 e amplitude A_1 , ditas fontes s_1 , s_2 constituindo uma antena de emissor de arranjo faseado com directividade para transmitir uma proporção principal da energia para baixo e para transmitir uma proporção significativamente menor da energia para cima para a superfície de mar;

10 - dito primeiro e segundo campos E_1 , E_2 se propagando parcialmente abaixo pelo fundo de mar 3 e sendo refletido e/ou refratado por ditas formações rochosas 1 e se propagando parcialmente de volta pelo fundo de mar 3;

15 - dito primeiro e dito segundo campos E_1 , E_2 se fundindo a um campo combinado e sendo medido por receptores eletromagnéticos r_1 , r_2 , ..., r_n registrando registros de campo correspondentes $E_{r1}(t)$, $E_{r2}(t)$, $E_{r3}(t)$, ..., $E_{rn}(t)$.

- Idealmente, a proporção da energia transmitida para cima para a superfície de mar deveria ser tão pequena quanto possível, próxima a zero.

20 Nesta primeira, concretização alternativa materialmente real da invenção, a diferença de fase e relação de amplitude entre os dois transmissores podem ser fixadas se uma única frequência básica for usada. Um propósito da invenção é usar um arranjo de dois transmissores de dipolo horizontais separados verticalmente, elétricos ou magnéticos, tendo uma relação de amplitude e uma diferença de fase, e dependendo da sua separação vertical e profundidade e elevação sobre o fundo de mar, interferir destrutivamente imediatamente abaixo da superfície de mar, de forma que reflexão de superfície de mar seja significativamente reduzida ou totalmente

eliminada.

Reciprocamente, alguém pode alcançar um resultado semelhante usando pares deslocados verticalmente de receptores, uma solução que não é ademais elaborada aqui.

5 A segunda alternativa do método de acordo com a presente invenção provê um arranjo de transmissor de dipolo dual virtual, que na sua concretização mais simples requer o uso de uma única antena de transmissor. É definido como um método para prospecção geofísica eletromagnética de formações rochosas 1 debaixo de um fundo de mar 3 incluindo as etapas
10 seguintes:

- rebocar uma primeira fonte emissora $s_{[1]}$ de campo eletromagnético alternando E_1 a uma primeira profundidade ou elevação h_1 acima do fundo de mar 3,

- dito primeiro campo E_1 tendo uma primeira fase ϕ_1 e
15 amplitude A_1 ;

- dito primeiro campo E_1 se propagando parcialmente abaixo pelo fundo de mar 3 e sendo refletido e/ou refratado por ditas formações rochosas 1 e se propagando parcialmente de volta pelo fundo de mar 3;

- dito primeiro campo E_1 sendo medido por receptores
20 eletromagnético r_1, r_2, \dots, r_n e registrando primeiros registros de campo correspondentes $E_{1r1}(t), E_{1r2}(t), E_{1r3}(t), \dots, E_{1rn}(t)$.

As etapas caracterizadoras desta concretização alternativa da invenção são as seguintes:

- rebocar uma segunda fonte emissora $s_{[2]}$ de campo
25 eletromagnético alternando E_2 a uma segunda profundidade ou elevação h_2 acima do fundo de mar 3,

- dito segundo campo alternado E_2 dando uma segunda fase ϕ_2 e amplitude A_2 que não precisam diferir daquelas do potência campo;

- dito segundo campo E_2 se propagando parcialmente abaixo

pelo fundo de mar 3 e sendo refletido e/ou refratado por ditas formações rochosas 1 e se propagando parcialmente de volta pelo fundo de mar 3;

- dito segundo campo E_2 sendo medido por receptores eletromagnéticos r_1, r_2, \dots, r_n e registrando segundos registros de campo correspondentes $E_{2r1}(t), E_{2r2}(t), E_{2r3}(t), \dots, E_{2rm}(t)$.

- combinar dito primeiro e segundo campos registrados $E_{1r1}(t) + E_{2r1}(t), E_{1r2}(t) + E_{2r2}(t), E_{1r3}(t) + E_{2r3}(t), \dots, E_{1m}(t) + E_{2m}(t)$ com uma diferença de fase imposta e relação de amplitude para um campo total $E_{r1}(t), E_{r2}(t), E_{r3}(t), \dots, E_m(t)$ tal que o campo combinado emule medições resultando de emissão de uma antena emissora de arranjo faseado composta de fontes de campo alternado s_1, s_2 tendo directividade a fim de transmitir uma proporção principal de energia de campo alternado para baixo pelo fundo de mar 3 e uma proporção altamente reduzida de energia para cima.

A proporção da energia combinada transmitida para cima deveria ser tão pequena quanto possível para esta concretização alternativa de dipolo dual virtual exatamente como deveria para a concretização de dipolo dual real.

Durante dita segunda emissão de campo alternado E_2 , dita amplitude A_2 não é requerida diferir daquelas do primeiro campo, porque durante ambas as travessias de emissão de campo usando um transmissor eletromagnético de fonte controlada, alguém normalmente preferiria transmitir à potência máxima permitida a fim de receber um sinal forte e claro nas pontas de receptor. O ajuste de relação de amplitude para o sinal combinado pode ser conduzido durante os estágios de processamento subseqüentes.

Nesta segunda e concretização alternativa da invenção, a fase e amplitude podem ser variadas vantajosamente na análise de acordo com o desejo do geofísico a fim de utilizar uma diferença de fase e amplitude que provê uma directividade vantajosa ou registros úteis de uma formação

portadora de petróleo potencial. Nesta concretização de arranjo virtual da invenção, os sinais registrados podem ser combinados para simular interferência destrutiva imediatamente abaixo da superfície de mar, assim para reduzir reflexão de superfície de mar e cancelamento das ondas aéreas.

5 Desenvolvimentos adicionais desta idéia podem ser imaginados em que os dipolos elétricos horizontais podem ser substituídos por outras fontes tais como dipolos elétricos verticais, dipolos magnéticos horizontais ou verticais. Além disso, a separação vertical simples de duas fontes separadas verticalmente pode ser expandida a arranjos mais
10 complicados de três ou mais fontes separadas verticalmente a fim de prover um padrão de antena desejado, ou expandir o padrão de fonte separado verticalmente para incluir uma porção horizontal do arranjo a fim de aumentar directividade. Semelhantemente, o ajuste de diferença de fase e relação de amplitude no processamento na segunda concretização pode ser combinado
15 com o reboque simultâneo das fontes da primeira concretização se os sinais das duas fontes forem feitos distinguíveis por alguma forma de multiplexação.

Há algumas vantagens importantes devido à directividade das antenas deslocadas verticalmente de acordo com a invenção: uma vantagem é que alguém pode praticar ou simular transmissão de um sinal eletromagnético
20 mais forte na direção para baixo a fim de melhor achar e observar as formações portadoras de petróleo visadas. Uma segunda e importante vantagem é que alguém pode reduzir significativamente a energia de propagação para cima, tanto por meio real ou virtual, assim reduzindo significativamente ondas aéreas indesejadas e possivelmente cancelar
25 reflexões de superfície de mar e possíveis múltiplos no mar.

Breve Legendas da Figura

Figura 1 ilustra uma primeira concretização alternativa da invenção, um método de arranjo real incluindo reboque simultâneo de dois dipolos elétricos se estendendo horizontalmente s_1 e s_2 pelo mar. Os dipolos

são deslocados verticalmente relativos um ao outro, e são operados a fases diferentes ϕ_1 e ϕ_2 , e amplitudes A_1 e A_2 , respectivamente. Receptores eletromagnéticos r_1, r_2, \dots, r_n tais como antenas de dipolo elétrico ou receptores magnéticos são arranjados ao longo do fundo de mar 3 para medir o campo eletromagnético que se propagou preferivelmente pelas rochas. Uma formação portadora de petróleo potencial 2 é vista abaixo de um terreno geológico 1. Caminhos de reflexão e refração são ilustrados. Uma curva de intensidade de campo elétrico normalizada em fonte também é ilustrada para um único receptor, aqui receptor r_4 .

10 Figura 2 ilustra uma tal curva de intensidade de campo elétrico normalizada ilustrada para um único receptor r_n .

Figura 3 ilustra a segunda e alternativa concretização de arranjo virtual da invenção, na qual duas pernas de reboque separadas são conduzidas usando um transmissor s a profundidades diferentes (ou elevações diferentes) ao longo do mesmo caminho através do fundo do mar. Os primeiros registros de campo $E_{1r1}(t), E_{1r2}(t), E_{1r3}(t), \dots, E_{1m}(t)$ da primeira perna e os segundos registros de campo $E_{2r1}(t), E_{2r2}(t), E_{2r3}(t), \dots, E_{2m}(t)$ da segunda perna podem ser adicionados subsequente ou caso contrário combinados durante pós-processamento de sinal para $E_{r1}(t), E_{r2}(t), E_{r3}(t), \dots, E_m(t)$ para emular medições resultando de emissão de um conjunto de antena emissora de arranjo faseado de fontes de campo alternadas s_1, s_2 tendo directividade a fim de simular transmissão de uma proporção principal de energia de campo alternado para baixo pelo fundo de mar 3 e nenhuma para cima.

25 Figura 4 ilustra alguns aspectos geométricos sobre reflexão e refração de ondas eletromagnéticas na superfície de mar.

Figura 5 é uma ilustração de uma seção vertical do mar e do fundo de mar, mostrando as direções de campo elétrico de propagação verticalmente para cima e para baixo.

Figura 6 mostra as direções e amplitudes de campos elétricos e magnéticos abaixo e acima.

Figura 7 é um exemplo modelado da remoção da onda aérea usando o método de acordo com a invenção.

5 Descrição de Concretizações Preferidas da Invenção

Figura 1 ilustra um real arranjo concretização alternativa da invenção. O método inclui reboque simultâneo de dois dipolos elétricos horizontais s_1 e s_2 pelo mar. Os dipolos estão deslocados verticalmente relativos um ao outro, e são operados a fases diferentes ϕ_1 e ϕ_2 , e amplitudes A_1 e A_2 , respectivamente. Receptores eletromagnéticos r_1, r_2, \dots, r_n tais como antenas de dipolo elétrico ou receptores magnéticos estão arranjados ao longo do fundo de mar 3 para medir o campo eletromagnético que se propagou, embora fortemente atenuado, pelo mar e preferivelmente pelas formações rochosas 1, 2. Uma formação portadora de petróleo potencial 2, isto é, uma formação de arenito porosa, é indicada enterrada abaixo de um terreno geológico 1, isto é, xistos e formações de arenito portadoras de água. Caminhos de reflexão e refração são ilustrados por linhas interrompidas e contínuas, respectivamente. Uma curva de intensidade de campo elétrico normalizada em fonte também é indicada aproximadamente para um único receptor estacionário, aqui receptor r_4 , para um arranjo de fonte móvel movido pelo mar, ao longo e traves dos receptores. As antenas de dipolo de transmissor não seriam movidas economicamente de local para local e mantidas estaticamente as suas profundidades desejadas no mar acima de uma formação geológica de prospecção geofísica situada debaixo do fundo de mar, assim é altamente desejável rebocar as antenas de transmissor atrás de um navio. Especificamente, a primeira concretização de transmissor de dipolo dual de arranjo real do método de acordo com a invenção inclui as etapas seguintes:

Rebocar primeira e segunda fontes emissoras s_1, s_2 de campo

alternado E_1 , E_2 em primeira e segunda profundidades abaixo da superfície de mar ou elevações h_1 , h_2 acima do fundo de mar 3, em que o primeiro campo E_1 tem uma primeira fase ϕ_1 .

5 O segundo campo alternado E_2 é dado uma segunda fase ϕ_2 sendo diferente da primeira fase ϕ_1 e uma segunda amplitude A_2 . Estas duas fontes s_1 , s_2 constituem uma antena de emissor de arranjo faseado tendo directividade para transmitir uma proporção principal da energia eletromagnética combinada para baixo.

10 Rebocar primeira e segunda fontes emissoras s_1 , s_2 de campo alternado E_1 , E_2 em primeira e segunda profundidades d_1 , d_2 debaixo da superfície de mar (ou elevações h_1 , h_2 acima do fundo de mar 3), em que o primeiro campo E_1 tem uma primeira fase ϕ_1 e amplitude A_1 .

15 O segundo campo alternado E_2 é dado uma segunda fase ϕ_2 e amplitude A_2 sendo diferente da primeira fase ϕ_1 e amplitude A_1 . Estas duas fontes s_1 , s_2 constituem uma antena de emissor de arranjo faseado tendo directividade para transmitir uma proporção principal da energia eletromagnética combinada para baixo e nenhuma para cima.

20 O primeiro e segundo campos E_1 , E_2 se propagarão parcialmente abaixo pelo fundo de mar 3 e sendo refletidos e/ou refratados por ditas formações rochosas 1 e se propagando parcialmente de volta pelo fundo de mar 3.

O campo combinado $E = E_1 + E_2$ é medido por receptores eletromagnéticos r_1 , r_2 , ..., r_n registrando registros de campo correspondentes $E_{r1}(t)$, $E_{r2}(t)$, $E_{r3}(t)$, ..., $E_{rn}(t)$.

25 Figura 3 ilustra uma segunda concretização alternativa de arranjo virtual da invenção, na qual o método inclui reboque de um dipolo elétrico horizontal pelo mar duas vezes sucessivamente ao longo do mesmo caminho. As profundidades de dipolo debaixo da superfície (ou alturas acima do fundo de mar) são deslocadas verticalmente relativas uma a outra entre as

duas passagens, e o dipolo é operado a fases ϕ_1 e ϕ_2 , e amplitudes A_1 e A_2 , respectivamente, durante as duas passagens. Como estes parâmetros podem ser ajustados alterando as fases ou abaixando ou elevando as intensidades de campo medidas pelas etapas de processamento subseqüentes requeridas, as

5 fases e amplitudes atuais não são requeridas serem feitas diferentes para as duas pernas de mar. Receptores eletromagnéticos, r_1, r_2, \dots, r_n tais como antenas de dipolo elétrico ou receptores magnéticos são arranjados ao longo do fundo de mar 3 como mostrado nas Figuras 1 e 3 para medir o campo eletromagnético que se propagou dos transmissores, por mar e pelas rochas, e,

10 neste caso, também pelo ar, um componente que deverá ser reduzido essencialmente por etapas de processamento. Uma formação portadora de petróleo potencial 2 é vista abaixo de um terreno geológico 1, como para Figura 1. Os receptores eletromagnéticos r_1, r_2, \dots, r_n podem ser distribuídos tendo separações uniformes geralmente ao longo de uma linha ao longo do

15 fundo de mar 3 como mostrado nas Figuras 1 e 3, mas também podem ser distribuídos em qualquer padrão de grade desejado no fundo de mar ou no mar. Especificamente, a segunda concretização alternativa do método inclui as etapas seguintes:

Rebocar sucessivamente primeira e segunda fontes emissoras

20 s_1, s_2 de campo alternado E_1, E_2 durante pernas separadas, em primeira e segunda profundidades d_1, d_2 abaixo da superfície de mar (ou elevações h_1, h_2 acima do fundo de mar 3), em que o primeiro campo E_1 tem uma primeira fase ϕ_1 e amplitude A_1 .

O segundo campo alternado E_2 é dado uma segunda fase ϕ_2 e

25 amplitude A_2 que não precisam ao início diferir da primeira fase ϕ_1 e amplitude A_1 . Ambas fase e amplitude podem ser impostas durante as etapas de processamento subseqüentes, assim é simplesmente requerido que todas as emissões de sinal e medições de sinal sejam bem registradas em tempo.

O primeiro e segundo campos E_1, E_2 se propagarão

separadamente, a cada seu tempo, parcialmente abaixo pelo fundo de mar 3 e sendo refletidos e/ou refratados por ditas formações rochosas 1 e se propagando parcialmente de volta pelo fundo de mar 3. Muita da energia durante cada emissão pode vazar para o ar.

5 O primeiro e segundo campos E_1 , E_2 são medidos separadamente por receptores eletromagnéticos r_1 , r_2 , ..., r_n registrando primeiro e segundo registros de campo correspondentes $E_{1r1}(t)$, $E_{1r2}(t)$, $E_{1r3}(t)$, ..., $E_{1rm}(t)$ e $E_{2r1}(t)$, $E_{2r2}(t)$, $E_{2r3}(t)$, ..., $E_{2rm}(t)$ em cada estação de sensor. Os registros de campo são combinados a um campo registrado combinado $E_{r1}(t)$,
 10 $E_{r2}(t)$, $E_{r3}(t)$, ..., $E_{rm}(t)$. Isto é feito para emular medições resultando de emissão de um conjunto de antena emissora de arranjo faseado virtual de fontes de campo alternado s_1 , s_2 tendo directividade a fim de transmitir uma proporção principal de energia de campo alternado para baixo pelo fundo de mar 3. Isto pode de um modo virtual cancelar uma proporção significativa da
 15 onda aérea ou múltiplos de mar presentes nas medições.

De acordo com o método virtual da invenção, a adição do primeiro e segundo campos $E_{1r1}(t) + E_{2r1}(t)$, $E_{1r2}(t) + E_{2r2}(t)$, $E_{1r3}(t) + E_{2r3}(t)$, ..., $E_{1rm}(t) + E_{2rm}(t)$ é conduzida por um algoritmo em um dispositivo de computador como uma etapa de pós-processamento depois da gravação do
 20 primeiro e do segundo registros de campo $E_{1r1}(t)$, $E_{1r2}(t)$, $E_{1r3}(t)$, ..., $E_{1rm}(t)$, $E_{2r1}(t)$, $E_{2r2}(t)$, $E_{2r3}(t)$, ..., $E_{2rm}(t)$.

De acordo com uma concretização preferida da invenção, o método virtual de adição de dito primeiro e segundos campos é conduzido em dito algoritmo variando a diferença de fase $\phi_2 - \phi_1$ entre a segunda fase ϕ_2 e a
 25 primeira fase ϕ_1 assim para aumentar a directividade emulada de dito arranjo de transmissor faseado emulado.

Uma pluralidade de travessias em mar pode ser feita rebocando a antena de transmissor a mais que duas profundidades, e uma combinação dos sinais recebidos feita a fim de alcançar directividade

melhorada dos sinais transmitidos simulados e magnitude melhorada do sinal recebido combinado virtualmente. Os registros selecionados são combinados com relação de amplitude e diferença de fase impostas de tal modo como que o campo combinado emula o campo de um arranjo direcional como na primeira concretização real.

Figura 4 ilustra alguns aspectos geométricos de reflexão e refração na superfície de mar. Para ondas de 1 Hz, a velocidade de propagação é cerca de 1760 m/s na água de mar tendo uma condutividade $\sigma = 3,2$ S/m. A velocidade de propagação no ar pode ser tomada como $c = 3 \cdot 10^8$ m/s.

$$\text{sen}(\theta_c) = v_w/c,$$

assim o ângulo crítico da onda eletromagnética será $\theta_c \approx 10^{-4}$ graus da normal à superfície de mar, que ainda é praticamente vertical. Isto significa que um cone extremamente estreito do sinal emitido penetrará pela superfície para se propagar como uma onda hemisférica no ar. A transição sobre o ângulo crítico não é tão abrupta quanto para não condutores. Parte da onda dentro do cone de ângulo crítico será refletida como uma parte de uma frente de onda esférica. A onda no ângulo crítico dará origem a uma onda de cabeça se propagando quase verticalmente para baixo. A onda além do ângulo crítico será totalmente refletida internamente como vista à direita da figura.

Empiricamente, as ondas refletidas acima mencionadas podem não ser negligenciadas se alguém desejar obter modelos e interpretações aceitáveis das medições.

A idéia básica é assim tentar usar pelo menos dois dipolos deslocados verticalmente e ajustar a fase e amplitudes relativas a fim de cancelar uma soma de ondas eletromagnéticas se propagando para cima exatamente abaixo da superfície de mar, assim minimizando até onde praticamente possível a onda eletromagnética emitida verticalmente para cima.

A idéia básica de usar arranjos de dipolo deslocados para formar um arranjo de antena diretiva se origina de G. H. Brown, 1937: "Directional antennas", Proc. I.R.E. 25, 78-145. Ele assume um par de antenas de dipolo reais tendo amplitudes iguais nos dois dipolos. Tais arranjos de dipolo duais podem não ser empregados diretamente em um meio absorvente tal como água do mar e o subsolo. As antenas de transmissor aéreas devem ser substituídas com um par de pares de eletrodo de transmissor marinho rebocados verticalmente separados, ou ademais por um arranjo virtual de tais pares de eletrodo de transmissor marinho rebocados com amplitudes diferentes nos dois dipolos. Assim, a idéia foi ademais elaborada e adaptada para uso em geofísica marinha nesta especificação de patente.

O coeficiente de reflexão para a onda se propagando para baixo no fundo de mar é:

$$r_{\text{refl}} = \frac{\sqrt{\sigma_w} - \sqrt{\sigma_g}}{\sqrt{\sigma_w} + \sqrt{\sigma_g}}$$

favor se referir à Figura 5. O efeito combinado dos dois dipolos deslocados verticalmente é o campo irradiado para cima de ambos os dipolos mais o campo irradiado para baixo que é refletido do fundo de mar.

Figura 6 é uma ilustração de uma seção do mar e do fundo de mar, mostrando as direções de campo eletromagnético de propagação verticalmente para cima e para baixo, ambas para os campos elétrico e para o magnético. A mudança de sinal para o campo magnético assegura que o deslocamento para o campo elétrico logo abaixo da superfície de mar para o dipolo elétrico dual também compensará o campo magnético logo abaixo da superfície de mar. Isto assegura que se pode trocar antenas de transmissor elétricas com antenas de transmissor magnéticas e obter o efeito de cancelamento de onda aérea desejado.

Cancelamento das ondas se propagando para cima é alcançado ajustando corretamente as diferenças de fase e a relação de amplitude entre os

transmissores de dipolo eletromagnético horizontal inferior e superior. Um cancelamento de ondas se propagando para cima resultará na prevenção da onda de cabeça acima mencionada. Ademais, os denominados múltiplos de onda aérea se originando de ondas reverberantes na camada de água serão

5 reduzidos ou removidos significativamente. Figura 7 mostra resultados modelados exibindo remoção bem sucedida da onda aérea e múltiplos de onda aérea usando os métodos descritos aqui. A curva de ciano marcada "l" é calculada para profundidade de água infinita, assim nenhuma onda aérea está presente. A curva vermelha indicada por "j" e curva azul indicada por "i" são

10 para dipolos a alturas diferentes, 150 m e 50 m acima do fundo de mar, respectivamente. A curvatura nas curvas "i" e "j" a 14 km deslocadas são ambas causadas pela onda aérea começando a dominar nesse deslocamento. A curva magenta marcada "k" é o resultado de combinar os resultados para os dois dipolos de acordo com a invenção. Não mostra nenhuma curva abrupta

15 ocorrendo de repente e, particularmente para deslocamentos mais que cerca de 4,5 a 5 km, se acha quase exatamente no topo da curva ciano marcada "l" calculada para profundidade de água infinita mostrando que a onda aérea foi removida com sucesso quando o método de acordo com a invenção foi aplicado.

20 Devido à reciprocidade, um conjunto de receptores deslocados verticalmente em um arranjo de receptor poderia ser empregado no registro dos dados, em vez de, ou além do uso de um arranjo deslocado verticalmente para transmissão.

25 Várias vantagens de um arranjo de transmissor de dipolo dual virtual deveriam ser consideradas.

 Primeiramente, transmissores eletromagnéticos existentes podem ser usados imediatamente.

 Secundariamente, não há nenhum requisito para desenvolver formas de onda especiais para o sinal transmitido. Fontes de dipolo elétrico

existentes transmitindo ondas senoidais, ondas quadradas, etc., podem ser empregadas diretamente na invenção.

5 Em terceiro lugar, ao invés de um problema potencial de interação de corrente cruzada mais ou menos indesejada entre eletrodos de dipolos diferentes tendo tensões diferentes na concretização de dipolo dual real, nenhuma tal interação indesejada ocorrerá na concretização de arranjo de dipolo dual virtual.

10 Em quarto lugar, além das vantagens presentes com o arranjo deslocado verticalmente de dipolo dual real, o arranjo deslocado verticalmente de dipolo dual virtual apresenta flexibilidade de processamento total em amplitude e fase livremente variada manipulando os dados registrados.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para prospecção geofísica eletromagnética de formações rochosas (1) sob um fundo de mar (3), caracterizado pelo fato de compreender as etapas seguintes:

5 rebocar primeira e segunda fontes emissoras (s_1, s_2) de campo eletromagnético alternado (E_1, E_2) em primeira e segunda profundidades (d_1, d_2), dito primeiro campo (E_1) tendo uma primeira fase (ϕ_1);

10 dito segundo campo alternado (E_2) dada uma segunda fase (ϕ_2) diferente de dita primeira fase (ϕ_1), ditas fontes (s_1, s_2) constituindo uma antena de emissor de arranjo faseado com directividade para transmitir uma proporção principal da energia eletromagnética combinada para baixo, e para transmitir uma proporção significativamente menor da energia para cima;

15 dito primeiro e segundo campos (E_1, E_2) se propagando parcialmente abaixo pelo fundo de mar (3) e sendo refletidos e/ou refratados por ditas formações rochosas (1) e se propagando parcialmente de volta pelo fundo de mar (3);

20 dito primeiro e dito segundo campos (E_1, E_2) se fundindo a um campo combinado total e sendo medido por receptores eletromagnéticos (r_1, r_2, \dots, r_n) registrando registros de campo correspondentes ($E_{r1}(t), E_{r2}(t), E_{r3}(t), \dots, E_m(t)$).

2. Método para prospecção geofísica eletromagnética de formações rochosas (1) sob um fundo de mar (3) incluindo as etapas seguintes:

25 rebocar uma primeira fonte emissora ($s_{[1]}$) de campo eletromagnético alternando (E_1) a uma primeira profundidade (d_1), dito primeiro campo (E_1) tendo uma primeira fase (ϕ_1), dito primeiro campo (E_1) se propagando parcialmente abaixo pelo fundo de mar (3) e sendo refletido e/ou refratado por ditas formações rochosas (1) e se propagando parcialmente de volta pelo fundo de mar (3);

dito primeiro campo (E_1) sendo medido por receptores eletromagnéticos (r_1, r_2, \dots, r_n) e registrando primeiros registros de campo correspondentes ($E_{1r1}(t), E_{1r2}(t), E_{1r3}(t), \dots, E_{1m}(t)$),

caracterizado pelo fato de compreender:

5 rebocar uma segunda fonte emissora ($s_{[2]}$) de campo alternado (E_2) em uma segunda profundidade (d_2), dito segundo campo alternado (E_2) dada uma segunda fase (ϕ_2) e amplitude A_2 não necessariamente diferente de dita primeira fase (ϕ_1) e amplitude (A_1), dito segundo campo (E_2) se propagando parcialmente abaixo pelo fundo de mar (3) e sendo refletido e/ou
10 refratado por ditas formações rochosas (1) e se propagando parcialmente de volta pelo fundo de mar (3), dito segundo campo (E_2) sendo medido por receptores eletromagnéticos (r_1, r_2, \dots, r_n) e registrando segundos registros de campo correspondentes ($E_{2r1}(t), E_{2r2}(t), E_{2r3}(t), \dots, E_{2m}(t)$);

combinar, em uma etapa de processamento, dito primeiro e
15 segundo registros de campo ($E_{1r1}(t) + E_{2r1}(t), E_{1r2}(t) + E_{2r2}(t), E_{1r3}(t) + E_{2r3}(t), \dots, E_{1m}(t) + E_{2m}(t)$) a um campo total ($E_{r1}(t), E_{r2}(t), E_{r3}(t), \dots, E_m(t)$) com uma diferença de fase e relação de amplitude impostas para emular medições resultando de emissão de um conjunto de antena emissora de arranjo faseado de fontes de campo alternado (s_1, s_2) tendo directividade a fim de transmitir
20 uma proporção principal de energia de campo alternado para baixo pelo fundo de mar (3) e uma proporção significativamente menor de energia de campo alternado para cima.

3. Método de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que ditos receptores eletromagnéticos (r_1, r_2, \dots, r_n) são arranjos
25 geralmente ao longo de uma linha ao longo do fundo de mar (3).

4. Método de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de que dito reboque de dita primeira fonte (s_1) a uma primeira profundidade (d_1) debaixo da superfície de mar ou elevação (d_1) acima do fundo de mar (3) e dita segunda fonte (s_2) a uma segunda profundidade (d_2)

debaixo da superfície de mar ou elevação (h_2) acima do fundo de mar (3) acontece como duas pernas consecutivas em mar através dos receptores (r_1, r_2, \dots, r_n).

5 5. Método de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de dita fonte emissora de campo (s_1, s_2) ser a mesma fonte emissora (s) corrida em duas corridas separadas através dos receptores (r_1, r_2, \dots, r_n).

6. Método de acordo com a reivindicação 2, caracterizado por dito primeiro e segundo campos (E_1, E_2) serem campos de dipolo elétricos horizontais (E_{1H}, E_{2H}).

10 7. Método de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de que dita combinação de dito primeiro e segundo campos ($E_{1r1}(t) + E_{2r1}(t), E_{1r2}(t) + E_{2r2}(t), E_{1r3}(t) + E_{2r3}(t), E_{1m}(t) + E_{2m}(t)$) sendo conduzida por um algoritmo em um dispositivo de computador depois de dito registro de dito primeiro e segundo registros de campo ($E_{1r1}(t), E_{1r2}(t), E_{1r3}(t), \dots, E_{1m}(t)$),
15 ($E_{2r1}(t), E_{2r2}(t), E_{2r3}(t), \dots, E_{2m}(t)$).

8. Método de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de que dita adição de dito primeiro e segundo campos conduzida em dito algoritmo variando a diferença de fase ($\phi_2 - \phi_1$) entre a segunda fase (ϕ_2) e a primeira fase (ϕ_1) assim para aumentar a directividade emulada de dito arranjo
20 de transmissor faseado emulado.

9. Método de acordo com quaisquer das reivindicações 1-8, caracterizado pelo fato de que usar campos elétricos verticais, campos magnéticos horizontais ou verticais e combinações destes componentes no registro e processamento.

25 10. Método de acordo com quaisquer das reivindicações 1-9, caracterizado pelo fato de que o número de elementos no arranjo pode exceder duas antenas, e que o arranjo pode incluir ambos deslocamentos verticais e horizontais dos elementos a fim de ademais estender o padrão de antena.

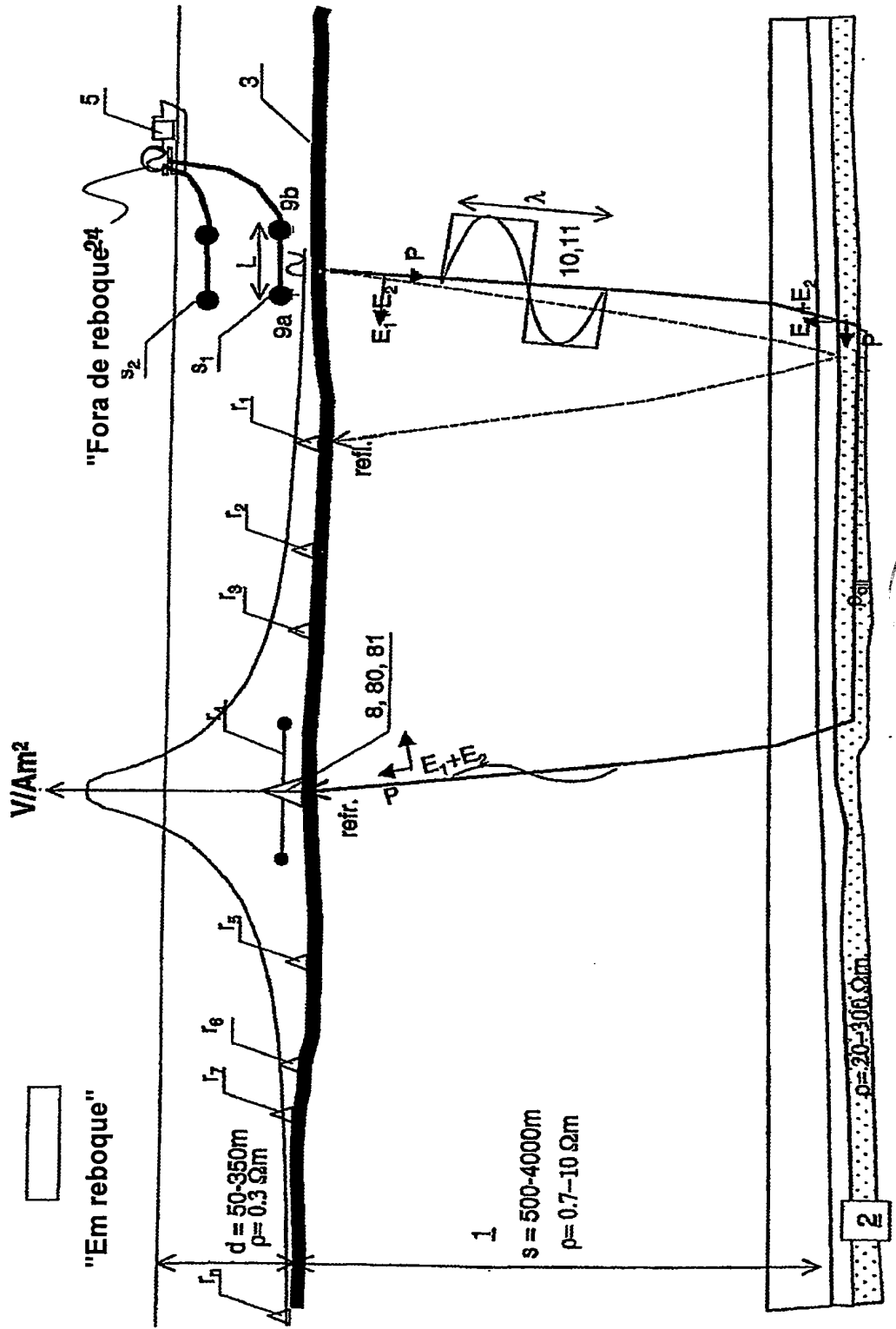


Fig. 1

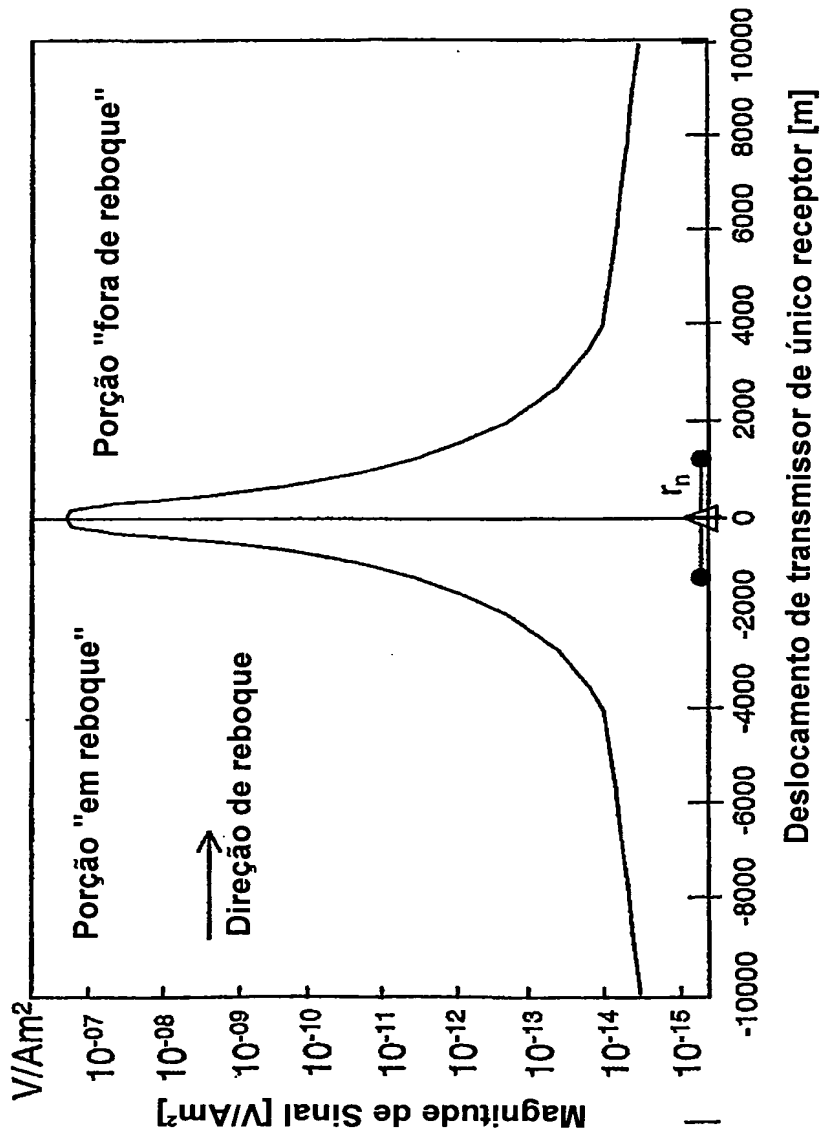


Fig. 2

Deslocamento de transmissor de único receptor [m]

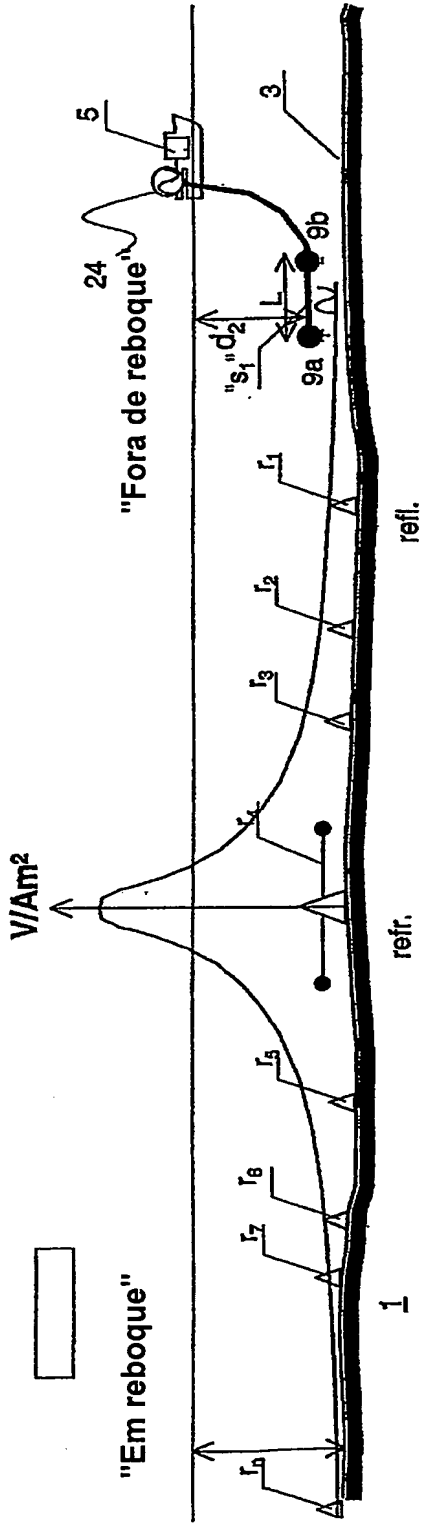


Figura 3a: primeira perna de CSEM através de formações visadas

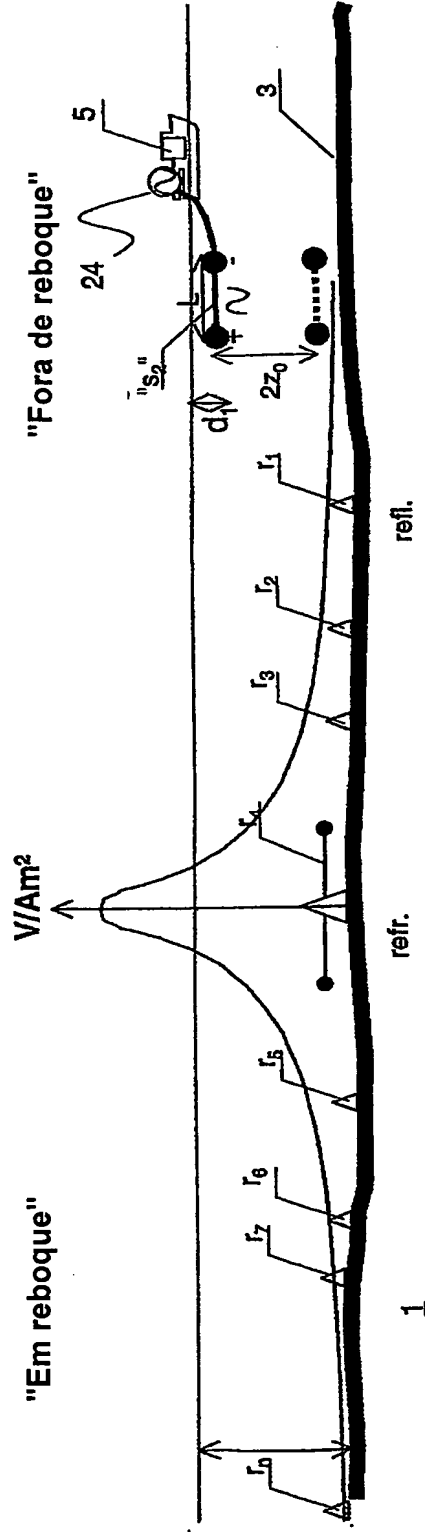
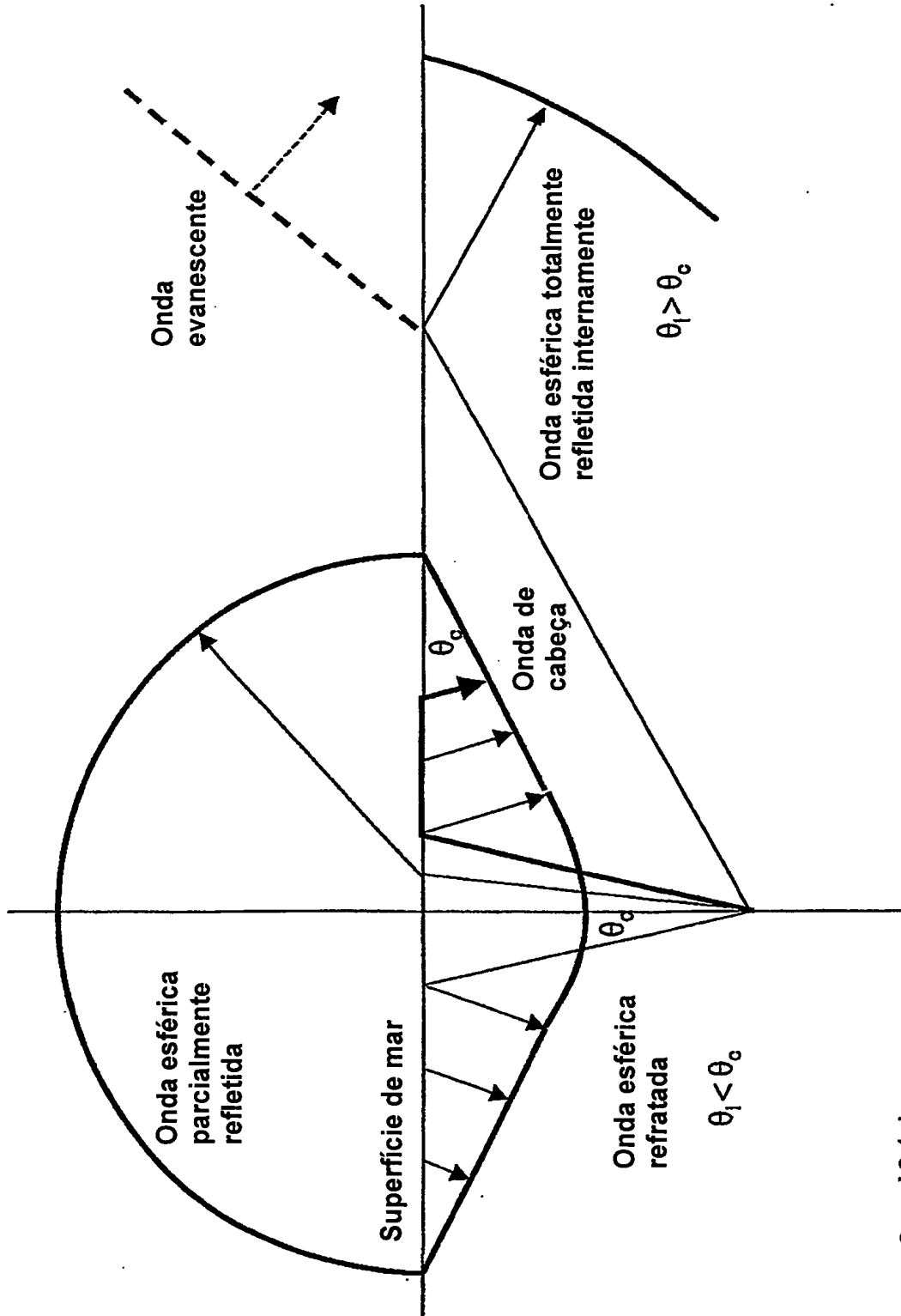


Figura 3b: primeira perna de CSEM através de formações visadas

Fig. 3



$\theta_c \sim 10^{-4}$ deg.

Fig. 4

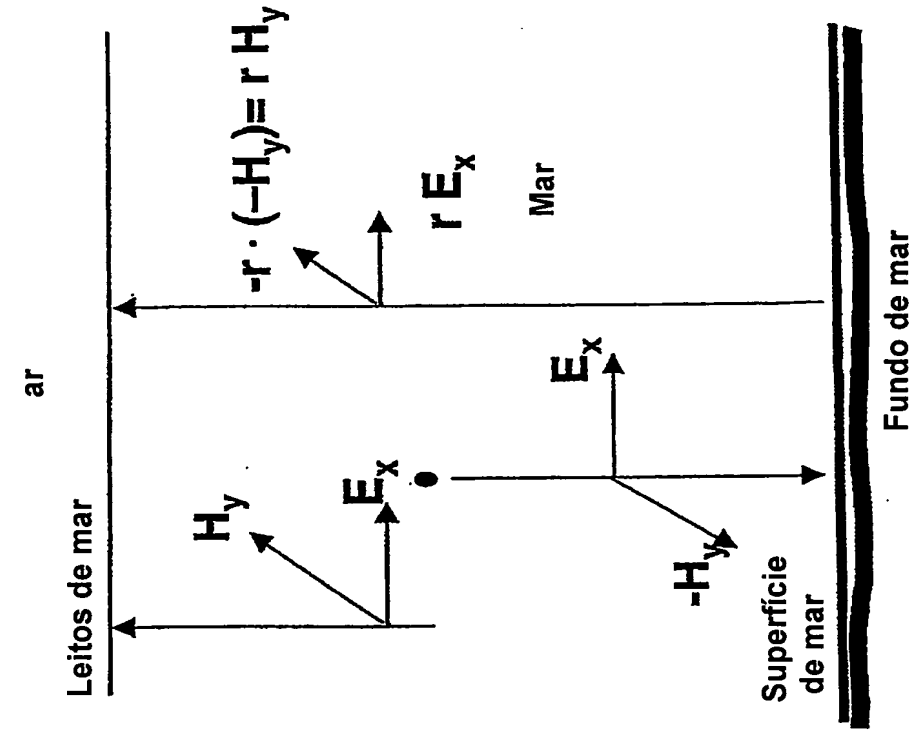


Fig. 6

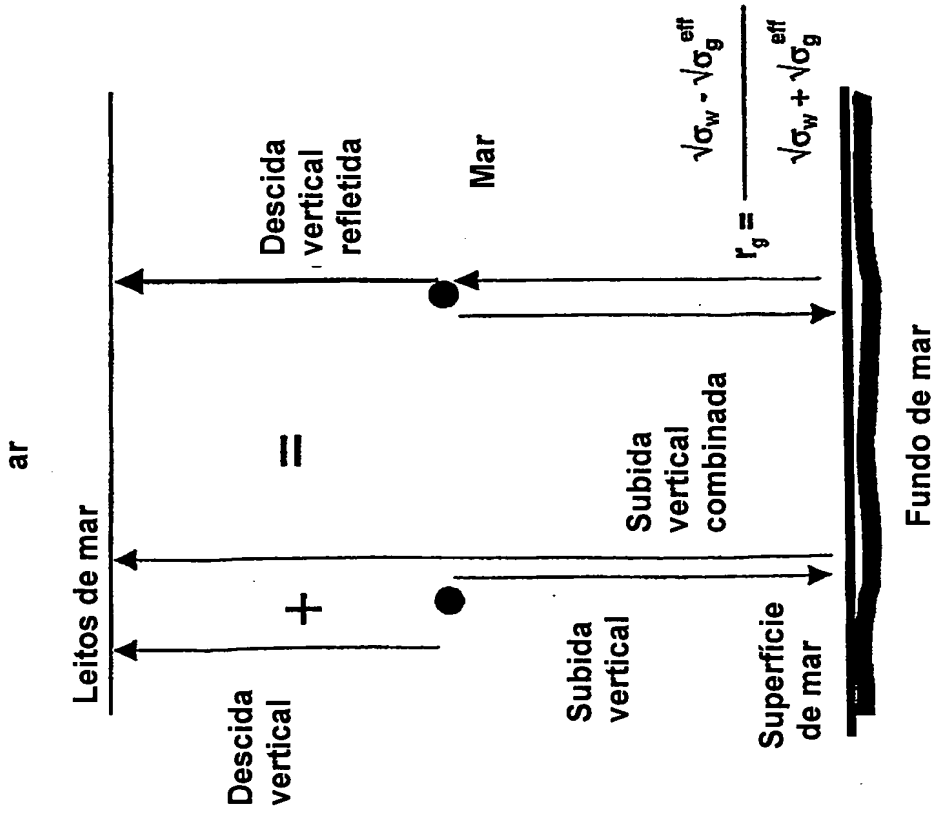


Fig. 5

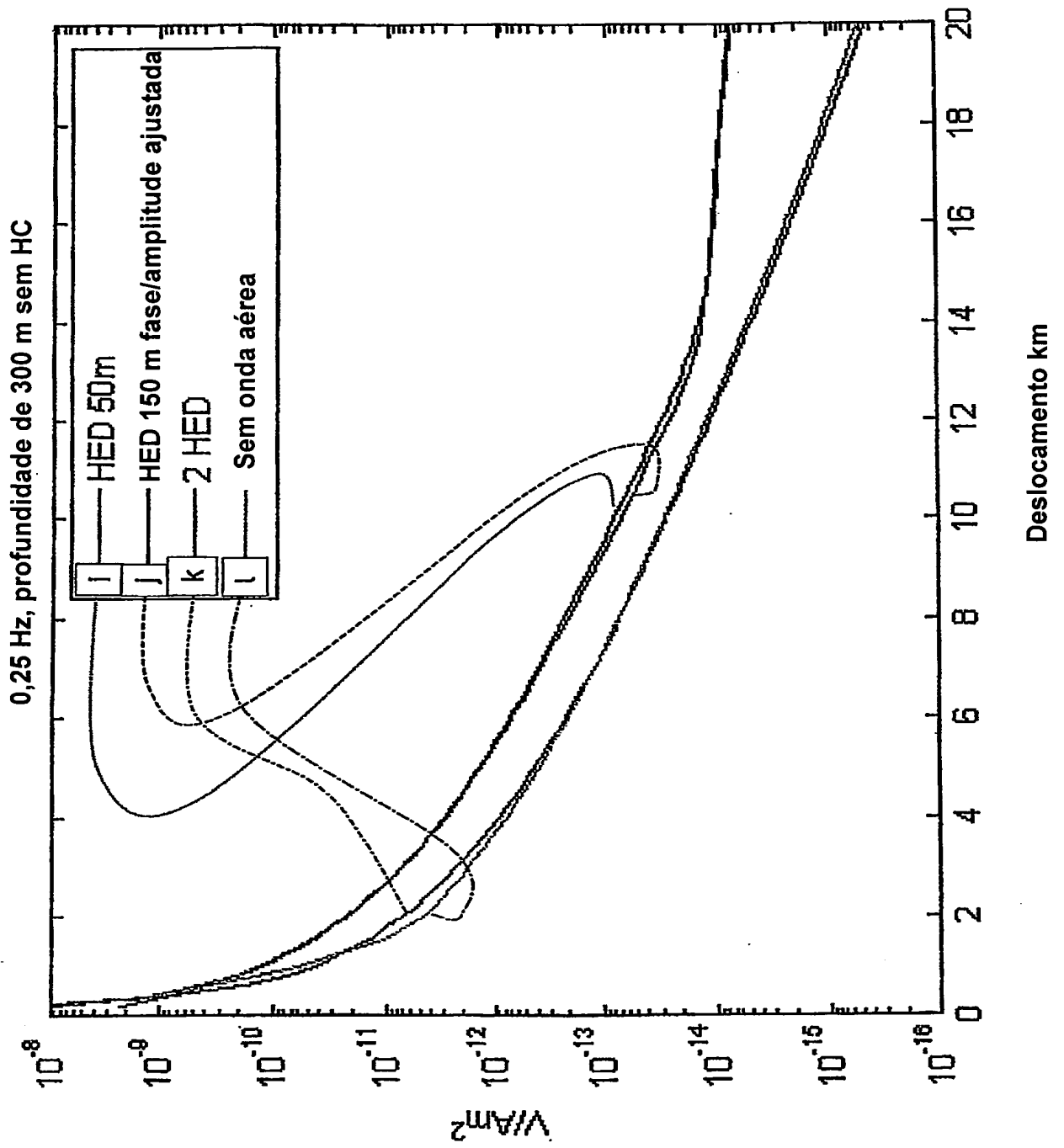


Fig. 7

RESUMO**“MÉTODO PARA PROSPECÇÃO GEOFÍSICA ELETROMAGNÉTICA DE FORMAÇÕES ROCHOSAS SOB UM FUNDO DE MAR”**

Um método para prospecção geofísica eletromagnética de formações rochosas (1) sob um fundo de mar (3) incluindo as etapas seguintes: rebocar primeira e segunda fontes emissoras (s_1, s_2) de campo alternado (E_1, E_2) em primeira e segunda profundidades abaixo da superfície de mar, dito primeiro campo E_1 tendo uma primeira fase (ϕ_1); dito segundo campo alternado (E_2) dado uma segunda fase (ϕ_2) diferente de dita primeira fase (ϕ_1), ditas fontes (s_1, s_2) constituindo uma antena de emissor de arranjo faseado com directividade para transmitir uma proporção principal da energia eletromagnética combinada para baixo; dito primeiro e segundo campos (E_1, E_2) para se propagar parcialmente abaixo pelo fundo de mar (3) e sendo refletidos e/ou refratados por ditas formações rochosas (1) e se propagando parcialmente de volta pelo fundo de mar (3); dito primeiro e dito segundo campos (E_1, E_2) para se fundir a um campo total e sendo medido por receptores eletromagnéticos (r_1, r_2, \dots, r_n) registrando registros de campo correspondentes ($E_{r1}(t), E_{r2}(t), E_{r3}(t), \dots, E_m(t)$).