



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 1102263-9 B1



* B R P I 1 1 0 2 2 6 3 B 1 *

(22) Data do Depósito: 04/05/2011

(45) Data de Concessão: 08/06/2021

(54) Título: MÉTODO E SISTEMA PARA LEVANTAMENTO ELETROMAGNÉTICO MARINHO

(51) Int.Cl.: G01V 3/08.

(30) Prioridade Unionista: 05/05/2010 US 12/799,941.

(73) Titular(es): PGS GEOPHYSICAL AS.

(72) Inventor(es): GUSTAV GÖRAN MATTIAS SÜDOW.

(57) Resumo: MÉTODO DE AQUISIÇÃO DE SINAL DE LEVANTAMENTO ELETROMAGNÉTICO DE MÚLTIPLOS COMPONENTES. A presente refere-se a um método para levantamento eletromagnético marinho que inclui a transmissão de um primeiro campo eletromagnético orientado em uma primeira direção para um corpo de água. Um segundo campo eletromagnético orientado em uma segunda direção é transmitido para o corpo de água, em que a segunda direção é substancialmente transversal à primeira direção. Um parâmetro relacionado à amplitude do campo eletromagnético é detectado em uma pluralidade de posições espaçadas entre si no sentido longitudinal e no sentido lateral atrás de um navio. Os componentes do parâmetro do campo eletromagnético detectado são determinados nos componentes ao longo da primeira e segunda direções mediante o uso das simetrias e assimetrias geométricas da fonte de transmissão. Sistemas para a implementação de tais métodos são igualmente providos.

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para
**"MÉTODO E SISTEMA PARA LEVANTAMENTO
ELETROMAGNÉTICO MARINHO".**

REFERÊNCIA CRUZADA COM PEDIDOS RELACIONADOS

[0001] Não aplicável.

DECLARAÇÃO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO COM
PATROCÍNIO FEDERAL

[0002] Não aplicável.

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

[0003] A presente invenção refere-se, de modo geral, ao campo do levantamento eletromagnético marinho das formações rochosas de subsuperfície. Em termos mais específicos, a presente invenção se refere a sistemas para a obtenção simultânea de sinais eletromagnéticos na mesma direção (orientação de transmissor e receptor com o mesmo momento dipolar) e na direção transversal (transmissor e receptor com momentos dipolares dispostos no sentido ortogonal).

[0004] O levantamento eletromagnético de fonte controlada no mar (CSEM) é uma técnica de levantamento geofísico que utiliza a energia eletromagnética (EM) para identificar possíveis formações rochosas contendo hidrocarboneto abaixo do fundo de um corpo de água, tal como um lago ou o oceano. Em um levantamento marinho CSEM típico, uma fonte de energia EM é tipicamente rebocada por uma área de interesse na subsuperfície da Terra, e um número de sensores de energia EM é disposto no fundo da água sobre a área de interesse a fim de obter sinais relativos à distribuição de resistividade elétrica na área de subsuperfície de interesse. Tal levantamento é feito para uma faixa de posições de fonte de energia EM e de sensor de energia EM. A fonte de energia EM emite cada qual dentre ou ambos o campo elétrico variável no tempo e o campo magnético variável no tempo,

que se propagam no sentido externo, para dentro da água do mar sobrejacente e no sentido descendente para dentro das formações abaixo do fundo da água. Os sensores mais comumente utilizados detectam e gravam o campo elétrico induzido no ou próximo ao fundo da água. O campo de energia EM variável no tempo pode ser induzido mediante a passagem de uma corrente elétrica por uma antena. A corrente elétrica pode ser uma onda contínua e ter uma ou mais frequências discretas. Essa passagem de corrente por uma antena é usada para o que é referido como levantamento "CSEM de domínio da frequência". A mesma é também conhecida na técnica no sentido de aplicar uma corrente contínua a uma antena, e produzir campos de energia EM transientes por meio da comutação da corrente. Tal comutação pode incluir, por exemplo, eventos de ligar, desligar, inverter polaridade, ou inverter polaridade após um evento de ligar ou desligar. Essa comutação pode ser sequenciada no tempo, por exemplo, igualmente espaçada no tempo, ou em uma série de tempos conhecida como uma "sequência binária pseudoaleatória". Essa corrente comutada é usada para conduzir o que se refere como uma "energia CSEM transiente" ou levantamento "CSEM de domínio do tempo". A mesma é também conhecida na técnica no sentido de rebocar os receptores de energia EM em cabos, de uma maneira similar aos cabos com sensor ("cabos flutuantes") utilizados em um tipo comum de levantamento sísmico marinho.

[0005] A energia EM é rapidamente atenuada na água do mar condutiva, porém, em formações de subsuperfície menos condutivas, a mesma é menos atenuada e se propaga com mais eficiência. Quando a frequência da energia EM é baixa suficiente, a energia EM poderá se propagar profundamente para as formações de subsuperfície. Os "vazamentos" de energia a partir das camadas de subsuperfície resistivas, por exemplo, um reservatório cheio de

hidrocarboneto, de volta para o fundo da água. Quando o espaçamento fonte - sensor ("desvio") é comparável ou maior que a profundidade de enterramento da camada resistiva (a profundidade abaixo do fundo da água), a energia refletida a partir da camada resistiva irá dominar sobre a energia transmitida. O levantamento CSEM utiliza o grande contraste de resistividade entre os hidrocarbonetos altamente resistivos e os fluidos salinos aquosos condutivos dispostos nas formações de subsuperfície permeáveis a fim de ajudar na identificação de reservatórios de hidrocarbonetos na subsuperfície.

[0006] Em um exemplo relevante à presente invenção, a disposição do sensor em um sistema de cabo flutuante de energia EM tipicamente consiste em pares de eletrodos espaçados entre si distribuídos ao longo do comprimento do cabo flutuante. Circuitos de medição de tensão são associados a cada um dos pares de eletrodo, ou podem ser associados de maneira comutável a mais de um par de tais eletrodos. As medições de tensão através dos pares de eletrodos em resposta à amplitude do campo elétrico detectado são transmitidas para uma unidade de gravação na embarcação de pesquisa para interpretação, ou para interpretação posterior em um local diferente. A disposição acima é descrita, por exemplo, na Patente U.S. N. 7 446 535, expedida para Tenhamn e outros.

[0007] A obtenção de múltiplos componentes de campo de energia EM no levantamento de energia EM rebocado não é trivial devido à dificuldade na medição de componentes de campo de energia EM de direção transversal (isto é, os componentes nos quais o transmissor e o receptor têm momentos dipolares dispostos no sentido ortogonal). Tradicionalmente, os componentes de campo de energia EM de direção transversal são omitidos na análise de dados de energia EM, uma vez que a parte principal das informações da estrutura de

subsuperfície pode ser encontrada no componente de campo elétrico de mesma direção (isto é, o componente no qual o transmissor e o receptor compartilham uma orientação de momento dipolar comum). No entanto, a impossibilidade de se medir componentes de campo de energia EM de direção transversal reduz a unicidade do resultado processado, o que vem a ser uma falha do ponto de vista da análise de dados. A obtenção de componentes de campo elétrico de direção transversal pode ser feita, por exemplo, através de uma operação de múltiplas embarcações. No entanto, tal configuração é associada a custos operacionais significativamente elevados. Existe uma necessidade por uma obtenção de dados de energia EM de múltiplos componentes que evite a complicação de pesquisas adicionais e/ou embarcações rebocadoras.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

[0008] Um método para levantamento eletromagnético marinho inclui a transmissão de um primeiro campo eletromagnético orientado em uma primeira direção para um corpo de água. Um segundo campo eletromagnético orientado em uma segunda direção é transmitido para o corpo de água, sendo que a segunda direção é substancialmente transversal à primeira direção. Um parâmetro relacionado à amplitude do campo eletromagnético é detectado em uma pluralidade de posições espaçadas entre si no sentido longitudinal e no sentido lateral atrás de uma embarcação. Os componentes do parâmetro do campo eletromagnético detectado são determinados nos componentes ao longo da primeira e segunda direções mediante o uso das simetrias e assimetrias geométricas da fonte de transmissão.

[0009] Um outro método para levantamento eletromagnético marinho inclui o reboque de um primeiro transmissor e um segundo transmissor através de um corpo de água ao longo de uma trajetória de reboque. Um primeiro campo eletromagnético orientado em uma

primeira direção é transmitido para o corpo de água, sendo que a primeira direção é substancialmente paralela à trajetória de reboque. Um segundo campo eletromagnético orientado em uma segunda direção é transmitido para o corpo de água, sendo que a segunda direção é substancialmente transversal à primeira direção. Um parâmetro relacionado à amplitude do campo eletromagnético é detectado em uma pluralidade de posições espaçadas entre si no sentido longitudinal e no sentido lateral. Os componentes do parâmetro do campo eletromagnético detectado são determinados nos componentes ao longo da primeira e segunda direções mediante o uso das simetrias e assimetrias geométricas da fonte de transmissão.

[00010] Um outro aspecto da presente invenção provê um sistema de levantamento eletromagnético marinho. O sistema compreende uma primeira fonte de campo eletromagnético configurado de modo a transmitir um primeiro campo eletromagnético orientado em uma primeira direção para um corpo de água, sendo que a primeira fonte de campo eletromagnético é disposta próxima à linha de centro de um cabo flutuante estendido. O sistema compreende ainda uma segunda fonte de campo eletromagnético configurada para transmitir um segundo campo eletromagnético orientado em uma segunda direção para um corpo de água, sendo que a segunda direção é substancialmente transversal à primeira direção. O sistema compreende ainda uma pluralidade de sensores eletromagnéticos dispostos sobre o cabo flutuante estendido e tendo momentos dipolares de modo geral paralelos à primeira direção e configurados de modo a detectar um parâmetro relacionado à amplitude do campo eletromagnético, sendo que pelo menos um sensor eletromagnético é disposto a uma distância da linha de centro.

[00011] Outros aspectos e vantagens da presente invenção tornar-se-ão aparentes a partir da descrição a seguir e reivindicações em

apenso.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[00012] A figura 1 é um sistema de aquisição e gravação de sinais eletromagnéticos exemplar.

[00013] A figura 2 mostra um gráfico de uma amplitude de sinal normalizada medida na mesma direção com relação ao desvio fonte - sensor usando um transmissor na mesma direção.

[00014] A figura 3 mostra um gráfico de amplitudes de sinal normalizadas medidas no sentido transversal para vários desvios fonte - sensor e extensões (spreads) laterais simétricas a partir do centro de um transmissor de direção transversal.

DESCRIÇÃO DETALHADA

[00015] Um sistema de aquisição e gravação de dados eletromagnéticos (EM) marinhos exemplar é mostrado na figura 1. Uma embarcação de pesquisa 10 se movimenta ao longo da superfície de um corpo de água 11, tal como um lago ou o oceano. A embarcação 10 inclui um equipamento no mesmo, mostrado, de modo geral, com a referência numérica 12 e, para fins de conveniência, referido como um "sistema de gravação". O sistema de gravação 12 pode incluir dispositivos (não mostrados separadamente, de modo geral conhecidos na técnica) para a navegação da embarcação 10, no sentido de aplicar corrente elétrica aos transmissores de energia EM (explicados abaixo), e detectar e gravar sinais que representam as tensões impressas através de pares de eletrodos 20 localizados em várias distâncias de desvio dos transmissores de energia EM (explicados abaixo). O sistema de gravação 12 pode incluir ainda um sistema de computador para a interpretação dos sinais detectados e/ou gravados em condutividade elétrica ou de outras imagens baseadas nas formações rochosas abaixo do fundo da água. Em algumas modalidades, o sistema de computador pode determinar os

sinais gravados nos componentes de campo elétrico de mesma direção ou na direção transversal.

[00016] No presente exemplo, o vaso pode rebocar dois transmissores de energia EM. O primeiro transmissor consiste em um cabo 18 rebocado na direção da embarcação 10 tendo sobre o mesmo dois eletrodos espaçados entre si no sentido longitudinal 18A, 18B. Em tempos selecionados, o sistema de gravação 12 passa corrente elétrica entre os eletrodos 18A, 18B. A corrente pode ser de baixa frequência (por exemplo, de cerca de 0,01 a cerca de 1,0 Hz) para um levantamento de energia EM no domínio da frequência, ou pode ser uma corrente contínua tendo um ou mais eventos de comutação, por exemplo, ligar a corrente, desligar a corrente, inverter a polaridade da corrente, ou uma série de eventos de comutação de um padrão particular, tal como uma sequência binária pseudoaleatória (PRBS). O primeiro transmissor emite um campo de energia EM orientado de modo geral na direção de movimento da embarcação, e pode ser referido como o transmissor "na mesma direção". Um segundo transmissor pode consistir de dois eletrodos, mostrados nas referências numéricas 19A e 19B, que podem ser mecanicamente conectados a uma posição externa lateral ao longo de duas das cordas "super largas" 14, 16. As cordas super largas 14, 16 podem conectar, cada uma das mesmas, uma extremidade externa da mesma a uma respectiva paravane ou porta 14A, 16A. Os paravanes 14A, 16A provêm força lateral à medida que a embarcação se movimenta através da água 11 de modo a manter a posição lateral ("spread") de cada qual dentre uma pluralidade de cabos flutuantes com sensor 20A, 20B, 20C com referência à linha de centro da embarcação 10. À medida que a corrente elétrica passa através dos eletrodos 19A e 19B, um campo de energia EM é emitido, que é de uma direção transversal ao movimento da embarcação 10. Esse campo pode ser referido como

o campo de energia EM "na direção transversal". Embora o acima mostre transmissores que são da forma de eletrodos espaçados entre si, deve-se entender claramente que resultados similares podem ser obtidos, por exemplo, mediante o uso de bobinas solenóides enroladas 1) de modo que o momento dipolar magnético das mesmas seja equivalente em posição e direção ao momento dipolar elétrico do transmissor de mesma direção e 2) enroladas de modo que o momento dipolar magnético de tal bobina esteja ao longo da mesma direção que o momento dipolar elétrico do transmissor na direção transversal ilustrado.

[00017] Em operação, conforme acima explicado, os transmissores podem ser energizados utilizando várias formas de corrente contínua comutada a fim de realizar um levantamento de energia EM no domínio do tempo. Em um exemplo, ambos os transmissores podem ser operados simultaneamente mediante o uso de uma sequência PRBS diferente para cada transmissor, ou, de preferência, sequências com um coeficiente de correlação cruzada de substancialmente zero. Deste modo, o componente de campo elétrico da mesma direção e o componente de campo elétrico de direção transversal das tensões induzidas em cada par de eletrodos 20 poderão ser identificados.

[00018] No presente exemplo, os cabos flutuantes 20A, 20B, 20C podem incluir uma pluralidade de pares de eletrodos espaçados entre si no sentido longitudinal 20. Dispositivos de telemetria, de formatação de dados e de amplificação adequados (nenhum mostrado na figura 1) podem ser incluídos em cada cabo flutuante 20A, 20B, 20C a fim de comunicar sinais de medição de tensão para o sistema de gravação 12. A ilustração da figura 1 é uma vista em planta. Será apreciado pelos versados na técnica que os cabos flutuantes 20A, 20B, 20C são tipicamente rebocados a uma profundidade substancialmente maior na água do que os transmissores.

[00019] A configuração ilustrada tem um transmissor de mesma direção (eletrodos 18A, 18B) e um transmissor de uma direção transversal ortogonal (eletrodos 19A, 19B) rebocado próximo a duas portas 14A, 16A seguido pelo cabo flutuante estendido ilustrado (cabos flutuantes 20A, 20B, 20C). Nesse cabo flutuante estendido ilustrado, os pares de eletrodos de mesma direção 20 sobre o cabo flutuante de mesma direção 20B são usados para medir diretamente o componente de campo elétrico de mesma direção ($E_{\parallel\text{proj}}$). O componente de campo de energia EM de direção transversal é estimado através da projeção do campo elétrico medido ($E_{\perp\text{proj}}$) nos cabos flutuantes descentralizados (20A, 20C conforme ilustrado, porém, de modo geral, qualquer cabo flutuante pode ser geometricamente separado do plano espelhado do transmissor de mesma direção). Esse conceito não requer um eletrodo de referência comum (vide, por exemplo, a Patente U.S. N. 7 602 191, expedida para Davidsson) e, deste modo, simplificaria a configuração do sistema e aperfeiçoaria a robustez do sistema como um todo.

[00020] Equações exemplares para a extração dos componentes de direção transversal são como se seguem:

$$\text{(Eq. 1)} \quad E_{A,tot,proj} = E_{\parallel,proj} - E_{\perp,proj}$$

$$\text{(Eq. 2)} \quad E_{B,tot,proj} = E_{\parallel,proj}$$

$$\text{(Eq. 3)} \quad E_{C,tot,proj} = E_{\parallel,proj} + E_{\perp,proj}$$

$$\text{(Eq. 4)} \quad E_{C,tot,proj} - E_{A,tot,proj} = 2E_{\perp,proj}$$

[00021] A título de exemplo, para uma separação de eletrodo de transmissor de mesma direção de 400 m, o componente normalizado $E_{\parallel\text{proj}}$ medido com um par de eletrodos de mesma direção de 200 m é ilustrado na figura 2. Com um cabo flutuante estendido de 2 km (1 km de distância lateral sobre ambos os lados da linha de centro), o eletrodo $E_{\perp\text{proj}}$ medido tem uma amplitude que é, na pior das hipóteses, 13dB mais baixa sobre uma faixa de

desvio fonte - sensor de 1 a 6km que o eletrodo $E_{\parallel\text{proj}}$. O gráfico da figura 3 ilustra uma sensibilidade de sinal de direção transversal exemplar com relação às várias separações de extensão (duplica a separação lateral de um único cabo flutuante a partir da linha de centro do transmissor de direção transversal). Esse exemplo indica que pode ser possível otimizar o cabo flutuante estendido de modo a obter uma sensibilidade máxima para um desvio específico. Conforme ilustrado, uma extensão de 500 metros é mostrada na curva 32, uma extensão de 1000 metros é mostrada na curva 34, uma extensão de 1500 metros é mostrada na curva 36, e uma extensão de 2 km é mostrada na curva 38.

[00022] Um método de levantamento de energia EM de acordo com a presente invenção pode oferecer resultados de interpretação aperfeiçoados e ao mesmo tempo manter a eficiência operacional do levantamento.

[00023] Embora a presente invenção tenha sido descrita com respeito a um número limitado de modalidades, os versados na técnica, tendo o benefício dessa apresentação, irão apreciar que outras modalidades podem ser concebidas, sem se afastar do âmbito de aplicação da presente invenção conforme divulgada nesse documento. Por conseguinte, o âmbito de aplicação da presente invenção deve ser limitado tão-somente pelas reivindicações em anexo.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para levantamento eletromagnético marinho que compreende:

transmitir um primeiro campo eletromagnético orientado em uma primeira direção para um corpo de água (11);

transmitir um segundo campo eletromagnético orientado em uma segunda direção para o corpo de água (11), em que a segunda direção é substancialmente transversal à primeira direção;

medir um parâmetro relacionado à amplitude do campo eletromagnético em uma pluralidade de posições espaçadas longitudinal e lateralmente ao longo de uma primeira direção detectada por uma pluralidade de receptores espaçados (20); e

caracterizado por determinar um valor da amplitude do campo eletromagnético na segunda direção usando as amplitudes medidas ao longo da primeira direção detectada da pluralidade de receptores espaçados (20).

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de** que a transmissão dos primeiro e segundo campos eletromagnéticos compreende a transmissão de corrente contínua comutada através dos pares de eletrodos correspondentes espaçados (18A-18B, 19A-19B).

3. Método, de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado pelo fato de** que a corrente contínua comutada compreende uma sequência binária pseudo-aleatória que corresponde a cada um dos pares de eletrodos (20).

4. Método, de acordo com a reivindicação 3, **caracterizado pelo fato de** que as sequências binárias pseudo-aleatórias têm um coeficiente de correlação cruzada de substancialmente zero.

5. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de** que a detecção compreende medir a tensão através de

pares de eletrodos (20) orientados substancialmente ao longo da primeira direção.

6. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** compreender ainda dispositivos de reboque para detectar o parâmetro relacionado à amplitude do campo eletromagnético.

7. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** compreender ainda dispositivos de reboque para transmitir pelo menos um dos primeiro e segundo campos eletromagnéticos.

8. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que:**

a transmissão do primeiro campo elétrico define uma primeira localização;

a transmissão do segundo campo elétrico define uma segunda localização; e

a pluralidade de posições espaçadas são separadas longitudinal e lateralmente do ponto médio entre as primeira e segunda localizações.

9. Sistema de levantamento eletromagnético marinho, **caracterizado por** compreender:

uma primeira fonte de campo eletromagnético (18A, 18B) configurada para transmitir um primeiro campo eletromagnético orientado em uma primeira direção para um corpo de água, em que a primeira fonte de campo eletromagnético está localizada próximo à linha central de uma distribuição de cabo flutuante com sensor;

uma segunda fonte de campo eletromagnético (19A, 19B) configurada para transmitir um segundo campo eletromagnético orientado em uma segunda direção para um corpo de água (11), a segunda direção sendo substancialmente transversal à primeira direção; e

caracterizado por uma pluralidade de sensores eletromagnéticos (20) posicionados sobre a distribuição de cabo flutuante que tem momentos dipolares geralmente paralelos à primeira direção e configurados para detectar um parâmetro relacionado à amplitude do campo eletromagnético em uma pluralidade de sensores eletromagnéticos espaçados (20), em que pelo menos um sensor eletromagnético está posicionado em uma distância a partir da linha central; e

um sistema de computador configurado para resolver um parâmetro de campo eletromagnético em componentes ao longo das primeira e segunda direções usando as medições de campo eletromagnético detectadas feitas ao longo da primeira direção.

10. Sistema, de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado** pelo fato de que a distribuição de sensor é uma distribuição de cabo flutuante, configurada para ser rebocada por uma embarcação (10).

11. Sistema, de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado pelo fato de** que pelo menos uma das primeira e segunda fontes de campo eletromagnético está configurada para ser rebocada por uma embarcação (10).

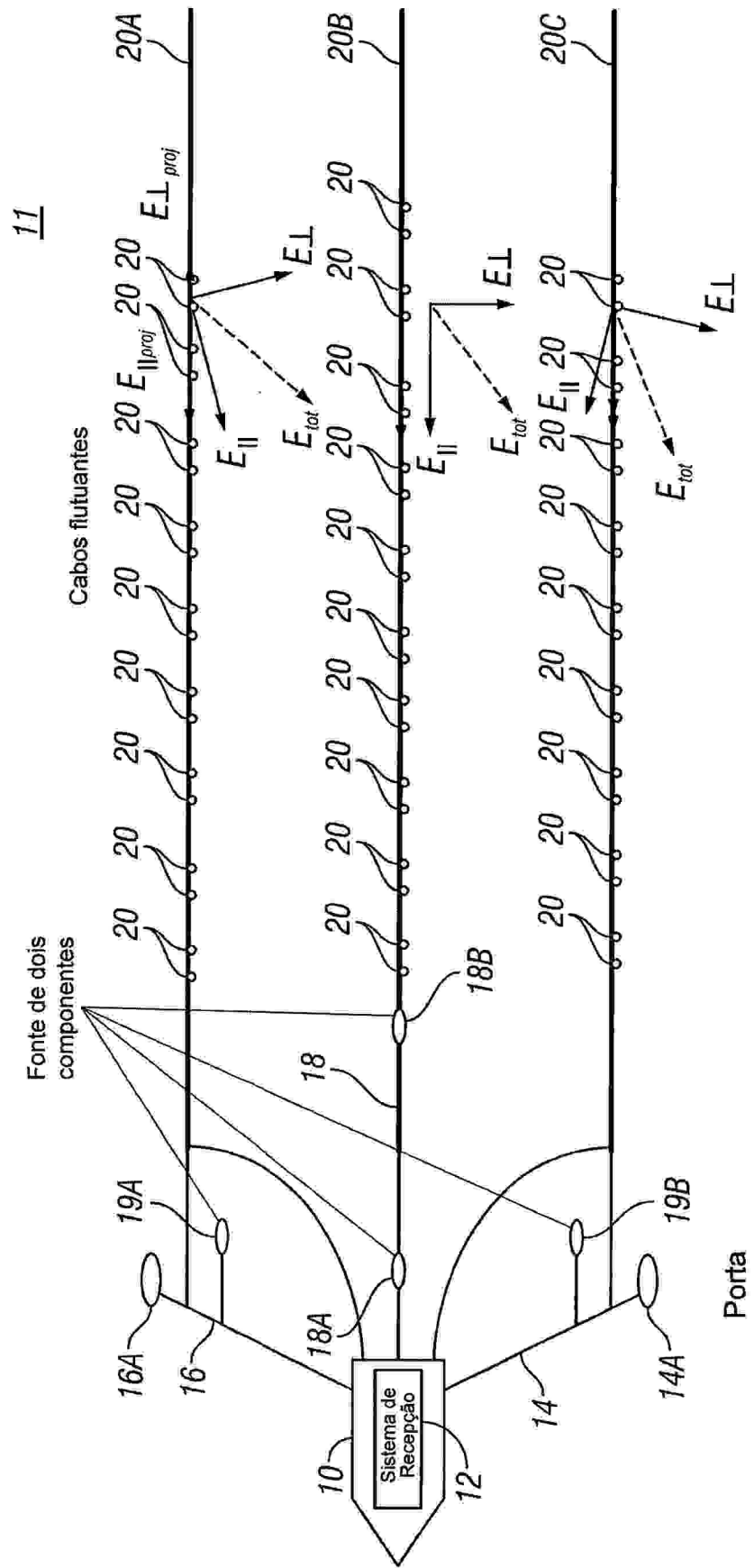


FIG. 1

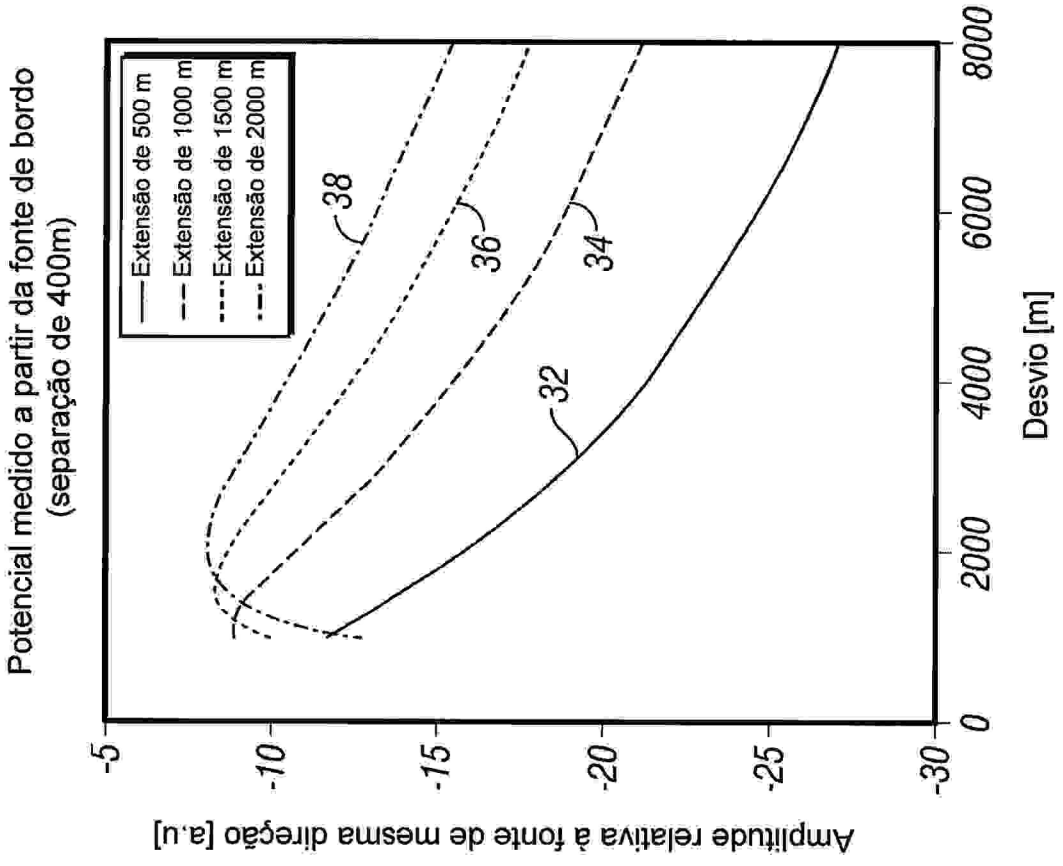


FIG. 3

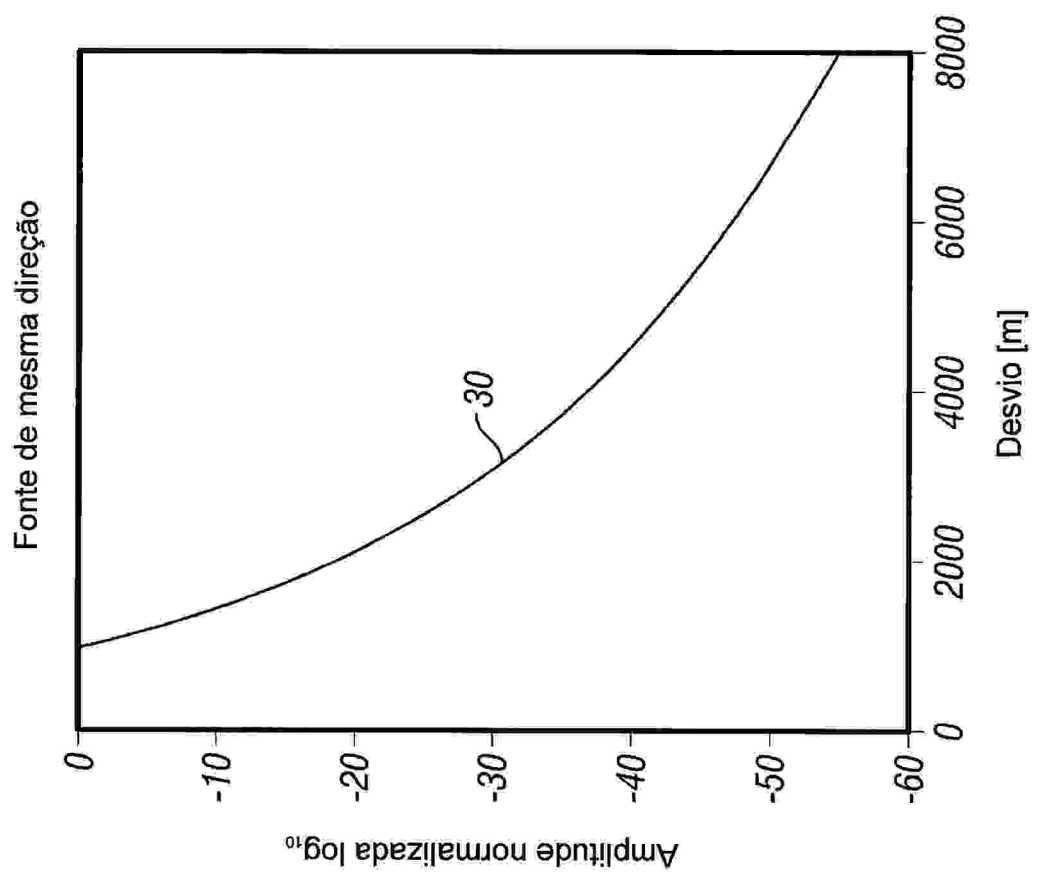


FIG. 2