



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

(11) PI 1002287-2 B1



(22) Data do Depósito: 24/06/2010

(45) Data de Concessão: 10/09/2019

(54) Título: MÉTODO PARA A DETERMINAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE RESISTIVIDADE DAS FORMAÇÕES ABAIXO DO FUNDO DA MASSA DE ÁGUA.

(51) Int.Cl.: G01V 3/08; G01V 3/12.

(52) CPC: G01V 3/083; G01V 3/12.

(30) Prioridade Unionista: 26/06/2009 US 12/459,158.

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

(72) Inventor(es): ANTONI MARJAN ZIOLKOWSKI; DAVID ALLAN WRIGHT.

(57) Resumo: MÉTODO PARA ESTIMATIVA E REMOÇÃO DA RESPOSTA DE ONDA DE AR EM INSPEÇÃO ELETROMAGNÉTICA MARINHA. A presente invenção refere-se a um método para a determinação da distribuição de resistividade das formações abaixo de um fundo de uma massa de água a partir de sinais eletromagnéticos transitórios adquiridos pela concessão de um campo eletromagnético transitório na água e a detecção de uma resposta eletromagnética para ele em uma pluralidade de posições separadas de um local da concessão inclui a simulação de uma resposta da onda de ar em cada uma da pluralidade de posições separadas. A resposta da onda de ar simulada é subtraída da resposta detectada para produzir uma resposta de impulso da subsuperfície em cada uma da pluralidade de posições. As respostas de impulso da subsuperfície são usadas para determinar a distribuição de resistividade.

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**MÉTO-
DO PARA A DETERMINAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE RESISTIVI-
DADE DAS FORMAÇÕES ABAIXO DO FUNDO DA MASSA DE
ÁGUA**".

Referência cruzada com pedidos relacionados

[0001] Não aplicável.

[0002] Declaração com relação à pesquisa ou desenvolvimento de responsabilidade federal

[0003] Não aplicável.

Antecedentes da Invenção

Campo da Invenção

[0004] A presente invenção refere-se, de forma geral, à área de inspeção eletromagnética marinha. A presente invenção refere-se mais especificamente a um método para a remoção de uma resposta indesejável chamada a "onda de ar" dos dados da inspeção eletromagnética marinha.

Antecedentes da Técnica

[0005] Formações porosas de rocha sedimentar de subsuperfície são tipicamente saturadas com fluidos como um resultado do seu depósito em uma massa de água durante a sedimentação. Como resultado, os fluidos eram no início inteiramente água. Em algumas formações de subsuperfície, a água nos espaços do poro foi deslocada até certa extensão depois da sedimentação pelos hidrocarbonetos, tais como óleo e gás. Dessa maneira, em algumas formações de subsuperfície atuais, os fluidos nos seus espaços de poro podem ser água, gás ou óleo ou misturas dos precedentes.

[0006] A detecção das formações tendo espaço de poro menos do que totalmente saturado com água, isto é, quando óleo ou gás podem estar presentes nos espaços do poro, é de interesse econômico significativo. Certas técnicas para a detecção de tais formações incluem a

determinação da existência de resistividades elétricas na subsuperfície que são anormalmente altas. O princípio de tal detecção é baseado no fato que o fluxo da corrente elétrica através de uma formação de rocha porosa está relacionado com o volume fracionário dos espaços de poro com relação ao volume total da rocha, a configuração espacial dos espaços de poro e as propriedades elétricas dos fluidos que enchem os espaços de poro. Formações de rocha porosas saturadas com salmoura, por exemplo, são tipicamente muito menos resistivas do que as mesmas formações de rocha tendo hidrocarbonetos em alguns ou todos os espaços de poro, porque a salmoura é um condutor elétrico relativamente bom enquanto os hidrocarbonetos são tipicamente bons isolantes elétricos.

[0007] Várias técnicas para a medição da resistividade elétrica das formações de rocha da subsuperfície são conhecidas na técnica, por exemplo, técnicas de inspeção eletromagnética de fonte controlada transitória tal como descrito na Publicação do Pedido de Patente Internacional Nº WO 03/023452, os conteúdos do qual são incorporados aqui por referência. Tais técnicas incluem, em geral, conceder um campo eletromagnético para a subsuperfície e medir os campos elétricos e/ou magnéticos induzidos na subsuperfície em resposta ao campo eletromagnético concedido. Para tais técnicas de medição, o campo eletromagnético pode ser concedido usando um transmissor de campo elétrico, por exemplo, um dispositivo configurado para passar uma corrente elétrica através de um eletrodo bipolar. Alternativamente, um transmissor de campo magnético pode ser usado, por exemplo, um dispositivo configurado para passar uma corrente elétrica através de um circuito de fios ou uma pluralidade de tais circuitos. Os receptores usados para detectar os campos eletromagnéticos responsivos podem ser, por exemplo, eletrodos bipolares para medir as diferenças de potencial (potencial do campo elétrico), ou podem ser circuitos de fios,

vários circuitos de fios ou magnetômetros para medir a amplitude do campo elétrico e/ou os derivados de tempo da amplitude do campo magnético.

[0008] Na inspeção eletromagnética de fonte controlada transitória, a corrente elétrica passada através do transmissor para conceder o campo eletromagnético pode ser controlada para propiciar uma ou mais mudanças de etapa na amplitude da corrente. Mudança da etapa na corrente do transmissor induz o que são citados como campos eletromagnéticos "transitórios", e as respostas medidas pelos receptores estão relacionadas com a resposta transitória das formações na sub-superfície da terra. A mudança da etapa na corrente do transmissor pode ser obtida ligando a corrente, desligando a corrente, invertendo a polaridade ou combinações do precedente. Uma forma particularmente vantajosa de configuração da comutação da corrente do transmissor usada para conceder um campo eletromagnético de fonte controlada é uma assim chamada "sequência binária pseudoaleatória" (PRBS).

[0009] Um sistema típico de inspeção eletromagnética marinha inclui uma fonte de corrente controlável disposta em um navio de pesquisa ou navio auxiliar. O navio reboca um cabo do transmissor sobre ou perto do fundo da água para transmissão de um campo eletromagnético para as formações abaixo do fundo da água passando a corrente transitória entre dois elétrodos dispostos no transmissor. A resposta eletromagnética do sistema incluindo a água e as formações abaixo do fundo da água é medida por receptores dispostos em um cabo sobre ou perto do fundo da água. Os receptores podem ser pares de elétrodos configurados tal que cada receptor mede a diferença de potencial entre o seu par de elétrodos. Todos os elétrodos ficam tipicamente no mesmo plano vertical. Em alguns sistemas de inspeção, navios diferentes podem ser usados para rebocar o transmissor e os receptores para possibilitar que a separação de transmissor-receptor ("distância")

seja mais facilmente ajustada. Como descrito na publicação WO 03/023452 citada acima, os sinais nos receptores são medidos, bem como o sinal transmitido pelo transmissor. Pela inversão da convolução do sinal do receptor medido com o sinal do transmissor medido, a resposta de impulso da subsuperfície para a configuração particular de transmissor-receptor é obtida.

[00010] Como uma questão prática, o sinal eletromagnético gerado pelo transmissor pode seguir três trajetórias de transmissão gerais para o(s) receptor(es), essas trajetórias sendo através das formações abaixo do fundo da água, através da própria camada da água e através do ar acima da camada da água. Em águas profundas, por exemplo, 2 km ou mais, e em que o transmissor e os receptores são dispostos perto do fundo da água como é típico em técnicas de inspeção conhecidas, a parte do sinal que se propaga através do ar tem um impacto insignificante nos sinais detectados pelo(s) receptor(es) porque o sinal eletromagnético do transmissor é substancialmente atenuado e retardado no tempo do momento do evento da corrente transitória quando ela move-se para a superfície da água e retorna para o(s) receptor(es) no fundo da água. Em contraste, em águas rasas, por exemplo, 100 m ou menos, a porção do sinal que se move através da água e ar é substancial com relação ao sinal medido total. A inspeção eletromagnética em águas rasas tem sido considerada impraticável como resultado.

[00011] Existe uma necessidade por técnicas para determinação da resposta eletromagnética das formações de subsuperfície abaixo do fundo da água dada a presença da onda de ar.

Sumário da Invenção

[00012] Um método de acordo com um aspecto da invenção para determinação da distribuição da resistividade das formações abaixo do fundo de uma massa de água a partir dos sinais eletromagnéticos

transitórios adquiridos pela concessão de um campo eletromagnético transitório para a água e a detecção de uma resposta eletromagnética para ele em uma pluralidade de posições separadas do local da concessão inclui a simulação de uma resposta da onda de ar em cada uma da pluralidade de posições separadas. A resposta simulada da onda de ar é subtraída da resposta detectada para produzir uma resposta de impulso da subsuperfície em cada uma da pluralidade de posições. As respostas do impulso de subsuperfície são usadas para determinar a distribuição de resistividade.

[00013] Um método de acordo com outro aspecto da invenção para determinação da distribuição da resistividade abaixo de uma massa de água a partir dos sinais eletromagnéticos transitórios adquiridos pela concessão de um campo eletromagnético transitório para a água e detecção de uma resposta para ele em uma pluralidade de posições separadas inclui a geração de um modelo inicial de distribuição de resistividade na água e formações. Uma primeira parte de uma onda de ar correspondendo com o local da concessão e cada posição separada é calculada. A distribuição de resistividade de uma parte da água do modelo inicial é ajustada e a resposta de cálculo da primeira parte é repetida até que as diferenças entre a primeira parte medida e a primeira parte calculada sejam minimizadas. Uma segunda parte da onda de ar é calculada para cada uma das localizações separadas e é combinada com a primeira parte para gerar uma onda de ar completa. A onda de ar é subtraída da resposta medida em cada localização para determinar uma resposta de impulso. Uma distribuição de resistividade é gerada a partir das respostas de impulso.

[00014] Outros aspectos e vantagens da invenção serão evidentes a partir da descrição seguinte e das reivindicações anexas.

Breve Descrição dos Desenhos

[00015] A figura 1 mostra uma resposta de impulso transitório

exemplar em um ambiente marinho.

[00016] A figura 2 mostra outra resposta de impulso transitório exemplar em um ambiente marinho.

[00017] A figura 3 mostra uma decomposição exemplar de uma resposta de impulso transitório marinho.

[00018] A figura 4 mostra um exemplo da aquisição marinha usando um método de acordo com a invenção.

[00019] A figura 5 mostra um fluxograma de um processo exemplar de acordo com a invenção.

Descrição Detalhada

[00020] Como explicado na seção de precedentes aqui, na inspeção eletromagnética transitória, um campo eletromagnético transitório, resultante de uma ou mais mudanças de etapa na corrente concedida para um transmissor, é concedido para a subsuperfície e uma resposta ao campo eletromagnético transitório concedido é medida, tipicamente em uma pluralidade de posições separadas da posição na qual o campo eletromagnético é concedido. A medição pode ser da voltagem induzida, campo magnético ou combinações dos mesmos. Uma "resposta de impulso total" de toda a estrutura da terra abaixo do transmissor e receptores pode ser obtida pela inversão da convolução da resposta transitória medida com uma medição da corrente do transmissor. Vários exemplos de evento de corrente transitória que podem produzir o campo eletromagnético necessário como ele interessa a presente invenção podem incluir, sem limitação, ligar a corrente contínua (DC), desligar a DC, inverter a polaridade da DC ou codificar a DC em uma sequência de eventos de comutação, tal como uma sequência binária pseudoaleatória ("PRBS").

[00021] A figura 1 mostra um exemplo de uma resposta de impulso total marinho real das medições feitas no Mar do Norte em profundidade de água de aproximadamente 100 metros e separação de trans-

missor-receptor de aproximadamente 2 quilômetros. Um pico de amplitude inicial, mostrado em 2, que ocorre logo depois do evento de comutação da corrente é identificável como a "onda de ar" e é essa resposta que a presente invenção pretende tratar. Um segundo pico ligeiramente maior, mostrado em 4, e que ocorre em aproximadamente 0,25 segundo depois do evento de comutação da corrente é a resposta de subsuperfície ao campo eletromagnético transitório concedido. A resposta de impulso total realmente medida é a superposição da onda de ar e da resposta da subsuperfície.

[00022] A figura 2 mostra outro exemplo de uma resposta de impulso total medida do Mar do Norte, com profundidade de água de aproximadamente 100 metros e uma separação de fonte-receptor de aproximadamente 4 quilômetros. O pico inicial, mostrado em 6, em aproximadamente 0,1 segundo do evento da corrente transitória é a onda de ar. Um segundo pico menor, mostrado em 8, e que ocorre em aproximadamente 0,9 segundo depois do evento da corrente transitória é da resposta de impulso da subsuperfície.

[00023] Como explicado na seção de precedentes aqui, quando os sinais eletromagnéticos são adquiridos em uma massa de água para inspecionar formações abaixo do fundo da água, uma consideração particular no projeto da inspeção é a profundidade da água. Para técnicas conhecidas de inspeção eletromagnética marinha na técnica nas quais os transmissores e os receptores são tipicamente dispostos perto do fundo da massa de água, é esperado que a onda de ar tenha um efeito material nas medições do receptor se a profundidade da água é insuficiente. A figura 3 mostra uma resposta eletromagnética transitória sintética calculada para um ambiente marinho de águas rasas, consistindo em uma camada de água e formações abaixo da camada de água. A resposta é mostrada no gráfico da figura 3 como a derivada de tempo da voltagem medida depois de uma mudança de etapa na cor-

rente de um transmissor de momento bipolar de 1 àmpere-metro. Na simulação mostrada na figura 3, a camada de água simulada é de 100 metros de profundidade e tem uma condutividade elétrica de 3,3 S/m. A distância simulada do transmissor para o receptor é de 2 quilômetros e as formações simuladas na subsuperfície são representadas por um meio espaço de 1 ohm-m de resistividade (1 S/m de condutividade). A resposta total mostrada em 18 inclui a resposta causada pela onda de ar, cuja resposta é decomposta em uma curva separada mostrada em 16, e a resposta das formações de subsuperfície que é decomposta em uma curva separada mostrada em 20. Pode ser observado que a onda de ar 16 começa com um pico de curta duração, de alta amplitude, e a seguir decai com relação ao tempo. A onda de ar 16 ainda tem amplitude substancial quando a resposta da subsuperfície 20 começa, entretanto. Por causa do precedente, a onda de ar 16 pode afetar substancialmente a resposta aparente das formações abaixo da camada de água (30 na figura 4). A onda de ar 16 assim contamina a porção do sinal eletromagnético transmitido que percorreu através das formações antes da detecção, cuja porção contém informação sobre a resistividade elétrica da subsuperfície que é de interesse.

[00024] A figura 4 mostra um sistema de inspeção eletromagnética marinha exemplar conforme ele pode ser usado de acordo com a invenção. O sistema pode incluir um ou mais navios de inspeção, um tal navio mostrado em 22, movendo-se ao longo da superfície 21 de uma massa de água 30, tal como um lago ou o oceano. O navio 22 pode rebocar um cabo do transmissor eletromagnético 24 na massa de água 30. O mesmo navio 22 ou um navio diferente (não-mostrado) pode rebocar um cabo do receptor eletromagnético 26 na água 30. O navio 22 pode incluir equipamento (não-mostrado separadamente) de tipos conhecidos na técnica para acionar o cabo do transmissor 24 e detectar e gravar os sinais de um ou mais receptores 26A no cabo do

receptor 26. O cabo do receptor 26 pode ser terminado com uma boia traseira 28 tendo vários dispositivos de processamento de sinal e navegação nela (não-mostrado separadamente).

[00025] O transmissor no cabo do transmissor 24 pode ser um par de elétrodos 24A. Um ou mais dos receptores no cabo do receptor 26 podem ser um par de elétrodos, mostrados em 26A, 26B, 26C para cada tal par. O uso de pares de eletrodo para medir a resposta do campo elétrico não é um limite no escopo da invenção. Outros sistemas podem usar, alternativa ou adicionalmente, vários dispositivos de detecção de campo magnético, tais como bobinas de fios ou circuitos ou magnetômetros para medir a resposta do campo magnético ao campo eletromagnético transitório concedido.

[00026] Pelo fato de que a água, particularmente água do mar, é um condutor de eletricidade, o contato da água com os elétrodos 24A e 26A, 26B, 26C proporciona o acoplamento elétrico daí com as formações 32 abaixo do fundo da água 31. O sinal do transmissor pode ser meramente por uma mudança de etapa na corrente aplicada através dos elétrodos do transmissor 24A, mas pode também ser qualquer sinal comutado transitório, incluindo, por exemplo, uma sequência binária pseudoaleatória. Os receptores (pares de eletrodo 26A, 26B, 26C) podem medir a diferença de potencial ou, por exemplo, a taxa de mudança do campo magnético estimulado pelo sinal do transmissor. As respostas gravadas dos receptores (pares de eletrodo 26A, 26B, 26C) podem ser transferidas para o disco rígido ou outro meio de armazenamento de um computador programável de uso geral.

[00027] O princípio do método de acordo com a invenção é obter as características de toda a onda de ar presente na resposta medida por cada receptor pela modelagem e inversão. Depois que as características da onda de ar são determinadas para cada medição de receptor, a resposta da onda de ar pode ser subtraída da medição, deixando co-

mo restante somente a resposta de impulso da subsuperfície.

[00028] A resposta de impulso da camada de água e da subsuperfície em qualquer receptor pode ser calculada para um modelo tridimensional da camada de água e das formações de subsuperfície abaixo do fundo da água. O modelo pode incluir a geometria do transmissor-receptor, a topografia do fundo da água, a resistividade da camada de água ρ_w , (que pode ser uniforme ou variar com a profundidade) e um modelo de resistividade da subsuperfície (abaixo do fundo da água). O último modelo pode ser conhecido aproximadamente de quaisquer outros dados disponíveis petrofísicos ou geofísicos da subsuperfície, por exemplo, perfis de poço próximos.

[00029] Uma observação importante com relação às figuras 2 e 3 é que a maior parte da resposta da onda de ar ocorre geralmente antes que a resposta do impulso da subsuperfície da terra seja substancial. Isto é, a resposta da onda de ar depende principalmente dos parâmetros da camada de água e é substancialmente independente da condutividade elétrica e sua distribuição espacial abaixo do fundo da água (31 na figura 4). Da modelagem eletromagnética, foi determinado que a onda de ar é muito mais sensível à profundidade (W na figura 4) do transmissor e receptores abaixo da superfície da água (21 na figura 4) do que ela é para a topografia (forma) do fundo da água.

[00030] Uma "primeira parte" da onda de ar pode ser definida como a parte para a qual a resposta da subsuperfície é insignificante. A primeira parte do método é modelar a primeira parte da onda de ar, um exemplo do qual ocorre de 0 a aproximadamente 0,1 segundo na figura 3. A primeira parte da onda de ar é mais sensível aos parâmetros da camada de água, por exemplo, profundidade do transmissor e receptores, profundidade da camada de água e resistividade, a maior parte dos quais é conhecida ou pode ser determinada. O parâmetro principal para essa parte do método, entretanto, é a determinação da

resistividade da camada de água. A resistividade pode ser uniforme por toda a camada de água ou a resistividade pode variar com relação à profundidade, por exemplo, como uma sequência em camadas ou como um valor de resistividade de superfície e um gradiente com base na profundidade. Os parâmetros de resistividade do modelo da camada de água são ajustados, tal que a diferença entre a primeira parte da onda de ar na resposta medida de cada receptor e a onda de ar modelada correspondente para cada receptor é minimizada. Pelo fato de que a primeira parte da onda de ar em particular não é muito sensível aos parâmetros das formações de subsuperfície, elas não precisam ser conhecidas com grande precisão na modelagem da primeira parte da onda de ar.

[00031] É esperado que o modelo de resistividade da água encontrado pelo processo de inversão precedente deva estar próximo a esses encontrados das medições. Os valores medidos, se disponíveis, devem ser usados para o modelo inicial. Valores aproximados para um modelo inicial podem ser encontrados das tabelas padrões, dada a temperatura da água do mar e a salinidade. O resultado do processo de inversão é considerado como sendo substancialmente correto se a primeira parte da onda de ar calculada iguala substancialmente a primeira parte da onda de ar medida para uma pluralidade de receptores.

[00032] Tendo assim obtido a primeira parte da onda de ar, é necessário então determinar a parte restante da onda de ar. Em um exemplo, se a camada de água é de profundidade substancialmente uniforme, a onda de ar pode ser calculada para uma separação de transmissor-receptor r , muito maior do que a maior distância atual do transmissor para o receptor para o sistema exemplar mostrado na figura 4. Pode ser assumido que tal onda de ar calculada não tenha substancialmente nenhuma resposta de impulso de subsuperfície. Uma alternativa é ajustar uma curva para o "final" da forma de onda da onda

de ar. Foi determinado que a última parte de tempo da onda de ar pode ser ajustada com uma curva da forma:

$$G(t) = A \exp\left(\frac{B}{t}\right) t^C \quad (1)$$

na qual o $G(t)$ representa a amplitude do sinal com relação ao tempo e os coeficientes A, B e C são diferentes para cada par de transmissor-receptor. Frequentemente não existem dados suficientes nas respostas medidas do receptor para possibilitar que os coeficientes A, B e C sejam calculados precisamente. Entretanto, os dados modelados podem ser calculados em qualquer taxa de amostra desejada, então os coeficientes A, B e C podem ser encontrados ajustando o resultado da equação (1) aos dados modelados. O processo consiste do seguinte, explicado com referência à figura 5.

[00033] Os dados transitórios da inspeção eletromagnética marinha são coletados, em 40, e processados para obter respostas de impulso para cada par de transmissor-receptor. O último processamento pode incluir, por exemplo, a inversão da convolução do sinal do receptor com um sinal de corrente do transmissor se uma sequência de transmissor codificada tal como PRBS é usada. Um modelo de resistividade inicial do sistema de água-subsuperfície é criado em 42. Tal modelo incluirá a camada de água e os parâmetros de subsuperfície, incluindo resistividade como explicado acima. Respostas de impulso sintéticas com base no modelo inicial são geradas em 43 para cada par de transmissor-receptor ou, com base na posição do transmissor, para cada receptor; essas devem preferivelmente incluir as posições dos transmissores e receptores individuais para cada medição feita. Em 44, a primeira parte da resposta do impulso sintética é comparada com a primeira parte da resposta de impulso medida para todos os receptores. Se a igualdade é inadequada, como um exemplo não-limitador, um erro de raiz média quadrada de no máximo aproximadamente um por cento, os parâmetros de resistividade da camada de água no mo-

delo são ajustados em 45 e as respostas sintéticas são recalculadas em 43 até que as diferenças entre as respostas medidas e as respostas sintéticas na primeira parte da resposta da onda de ar sejam minimizadas para todos os sinais do receptor. Em 46, a segunda parte ou "final" da onda de ar é estimada para cada par de transmissor-receptor ajustando uma curva apropriada para a parte decadente da onda de ar modelada, por exemplo, equação (1). A onda de ar completa para cada sinal do receptor é então obtida, em 48, combinando a primeira parte obtida em 44 como explicado acima com o final obtido em 46 pelo ajuste de curva explicado acima. Em 50, a onda de ar completa para cada receptor é então subtraída da resposta de impulso medida total para cada receptor. O restante, que é a resposta de impulso da subsuperfície medida em cada receptor, pode ser usado, em 52 em qualquer forma de processo de inversão para gerar um modelo ou imagem da distribuição espacial da condutividade elétrica na subsuperfície abaixo do fundo da água.

[00034] Métodos de acordo com a invenção podem proporcionar a capacidade de fornecer resultados de inspeção eletromagnética precisos mesmo em água relativamente rasa em contraste com os métodos conhecidos na técnica anterior da presente invenção.

[00035] Embora a invenção tenha sido descrita com relação a um número limitado de modalidades, aqueles versados na técnica, tendo o benefício dessa descrição, verificarão que outras modalidades podem ser planejadas que não se afastam do escopo da invenção como descrita aqui. Dessa maneira, o escopo da invenção deve ser limitado somente pelas reivindicações anexas.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para a determinação da distribuição de resistividade das formações (32) abaixo do fundo da massa de água (30), o método compreendendo as etapas de:

simulação (42-48) de uma resposta da onda de ar em cada uma de uma pluralidade de posições separadas (26A, 26B, 26C) na massa de água de um local (25) de concessão de um campo eletromagnético transitório para a água,

concessão de um campo eletromagnético transitório para a água no local,

detecção (40) de uma resposta eletromagnética para o campo magnético transitório concedido na pluralidade de posições separadas,

subtração (50) da resposta da onda de ar simulada de uma resposta detectada para produzir uma resposta de impulso de subsuperfície em cada uma da pluralidade de posições separadas, e

uso (52) das respostas de impulso da subsuperfície para determinar a distribuição da resistividade,

em que a simulação da resposta da onda de ar é caracterizada pelo fato de:

gerar (42) um modelo inicial de distribuição de resistividade na água e nas formações;

calcular (43) uma resposta de uma primeira parte da onda de ar correspondendo a cada posição separada,

ajustar (45) a distribuição de resistividade de uma parte da água do modelo inicial e repetir a resposta de cálculo da primeira parte até que as diferenças (44) entre a primeira parte medida e a primeira parte calculada sejam minimizadas para cada uma das posições separadas, e

calcular (46) uma segunda parte da onda de ar para cada

uma das posições separadas e combinação da segunda parte com o resultado do ajuste e cálculo repetido da primeira parte para gerar uma onda de ar completa para cada uma das posições separadas.

2. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o cálculo da segunda parte compreende o ajuste da curva.

3. Método de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de que a curva ajustada está na forma de

$$G(t) = A \exp\left(\frac{B}{t}\right) t^C$$

na qual $G(t)$ representa a amplitude do sinal com relação ao tempo e A, B e C são constantes determinadas pela igualdade empírica da curva de ajuste com a resposta medida em cada posição separada.

4. Método para a determinação da distribuição de resistividade das formações (32) abaixo de um fundo de uma massa de água (30) a partir dos sinais eletromagnéticos transitórios adquiridos pela concessão de um campo eletromagnético transitório para a água e detecção de uma resposta eletromagnética para o mesmo em uma pluralidade de posições separadas (26A, 26B, 26C) de um local da concessão, o método caracterizado pelo fato de que:

geração (42) de um modelo inicial de distribuição de resistividade na água e nas formações,

cálculo (43) de uma resposta de uma primeira parte da onda de ar correspondendo ao local da concessão e cada posição separada,

ajuste (45) de uma distribuição de resistividade de uma parte de água do modelo inicial e a repetição da resposta de cálculo da primeira parte até que as diferenças entre a primeira parte medida e a primeira parte calculada sejam minimizadas para cada uma das posições separadas, em que a primeira parte medida é obtida através da

concessão de um campo eletromagnético transitório para a água no local e detecção da resposta eletromagnética em uma pluralidade de posições separadas;

cálculo (46) de uma segunda parte da onda de ar para cada uma das localizações separadas e a combinação da segunda parte com o resultado do ajuste e o cálculo repetido da primeira parte para gerar uma onda de ar completa para cada uma das localizações separadas;

subtração (50) da onda de ar completa da resposta medida a cada localização separada para determinar a resposta de impulso de subsuperfície; e

geração (52) de uma distribuição de resistividade das formações das respostas de impulso de subsuperfície.

5. Método de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de que o cálculo da segunda parte compreende o ajuste da curva.

6. Método de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelo fato de que a curva ajustada está na forma de

$$G(t) = A \exp\left(\frac{B}{t}\right) t^C$$

na qual $G(t)$ representa a amplitude do sinal com relação ao tempo e A, B e C são constantes determinadas pela igualdade empírica da curva de ajuste com a resposta medida em cada posição separada.

7. Método para a determinação da distribuição de resistividade das formações (32) abaixo de um fundo de uma massa de água (30), compreendendo:

a concessão de um campo eletromagnético transitório para a água,

a detecção (40) de uma resposta eletromagnética ao campo concedido em uma pluralidade de posições separadas de um local

da concessão;

a simulação de uma resposta da onda de ar em cada uma da pluralidade de posições separadas;

a subtração (50) da resposta da onda de ar simulada da resposta detectada para produzir uma resposta de impulso da subsuperfície em cada uma da pluralidade de posições, e

o uso (52) das respostas de impulso da subsuperfície para determinar a distribuição de resistividade,

em que a simulação de uma resposta da onda de ar é caracterizada pelo fato de:

gerar (42) um modelo inicial de distribuição de resistividade na água e nas formações;

calcular (43) uma resposta de uma primeira parte da onda de ar correspondendo a cada posição separada,

ajustar (45) a distribuição de resistividade de uma parte da água do modelo inicial e repetir a resposta de cálculo da primeira parte até que as diferenças (44) entre a primeira parte medida e a primeira parte calculada sejam minimizadas para cada uma das posições separadas, e

calcular (46) uma segunda parte da onda de ar para cada uma das posições separadas e combinação da segunda parte com o resultado do ajuste e cálculo repetido da primeira parte para gerar uma onda de ar completa para cada uma das posições separadas.

8. Método de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de que o cálculo da segunda parte compreende o ajuste da curva.

9. Método de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo fato de que a curva ajustada está na forma de

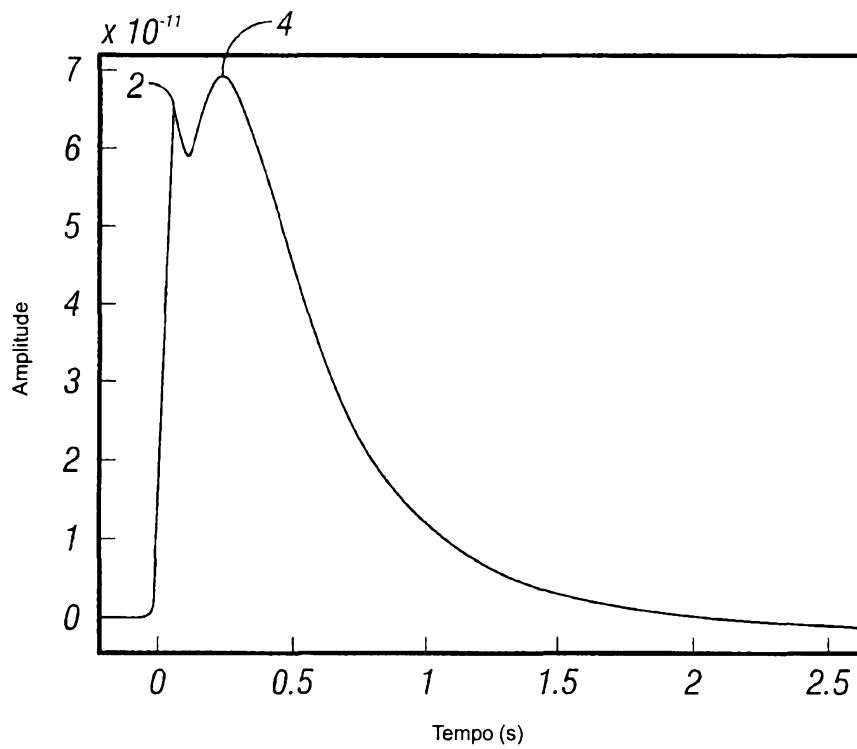
$$G(t) = A \exp\left(\frac{B}{t}\right) t^C$$

na qual $G(t)$ representa a amplitude do sinal com relação ao

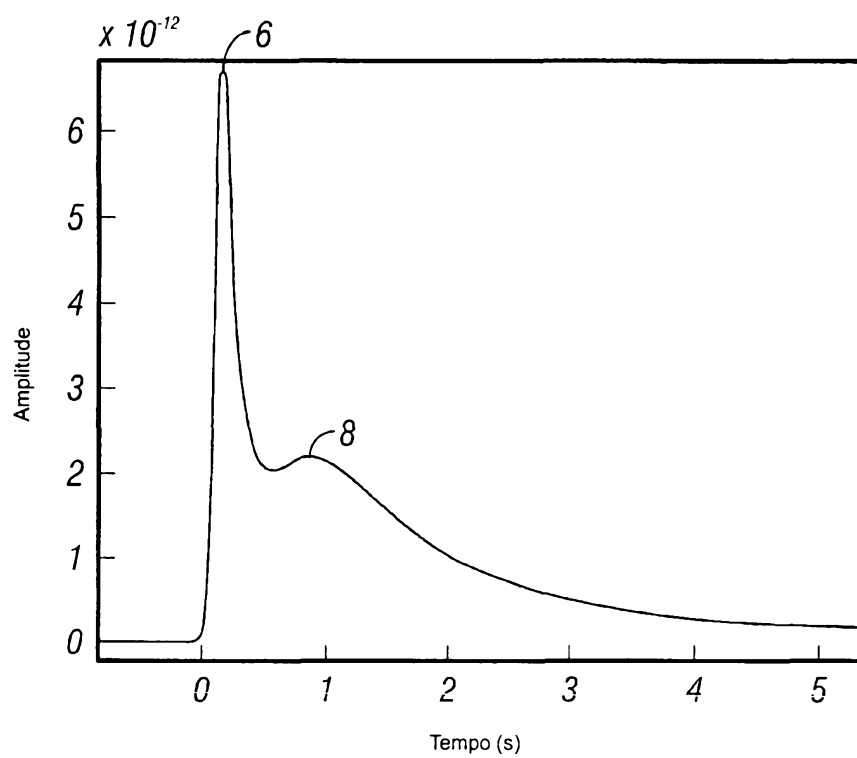
tempo e A, B e C são constantes determinadas pela igualdade empírica da curva de ajuste com a resposta medida em cada posição separada.

10. Método de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de que a concessão compreende passar uma corrente elétrica através de um eletrodo dipolo.

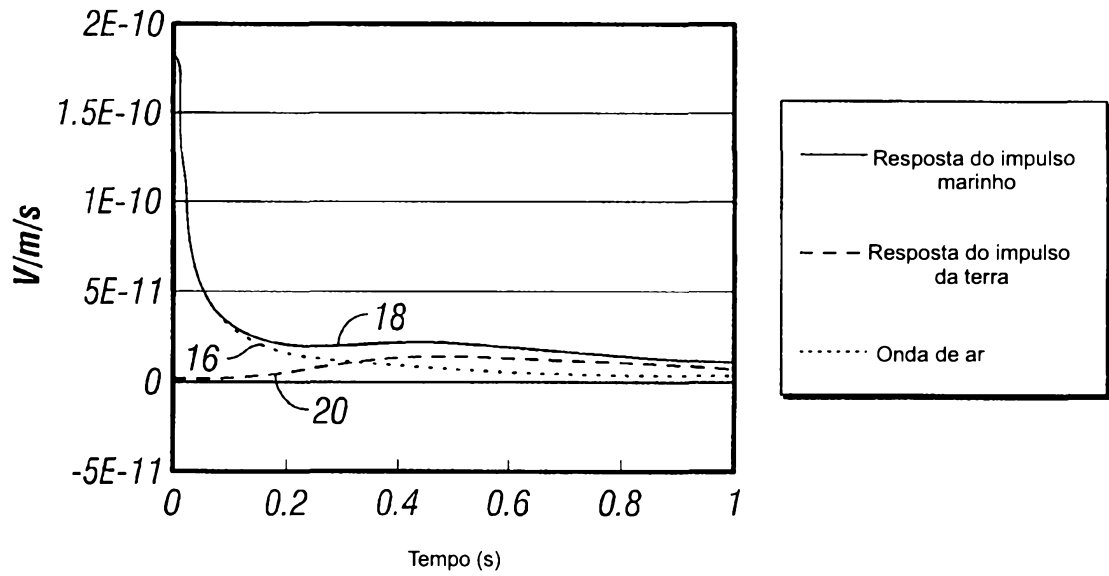
11. Método de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de que a detecção compreende medir as voltagens impressas através de pares de eletrodos horizontalmente separados.

**FIG. 1**

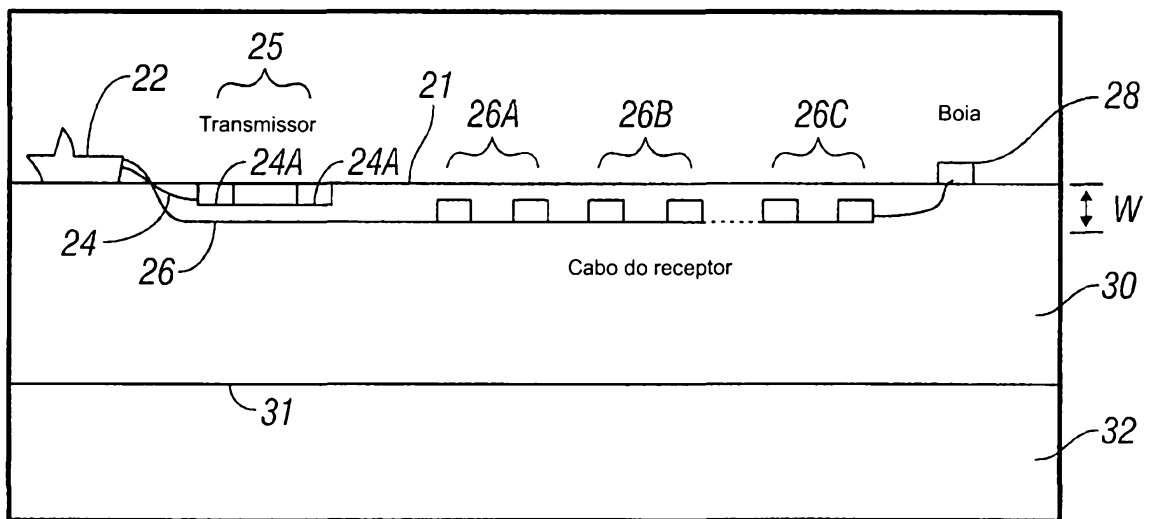
(Técnica anterior)

**FIG. 2**

(Técnica anterior)

**FIG. 3**

(Técnica anterior)

**FIG. 4**

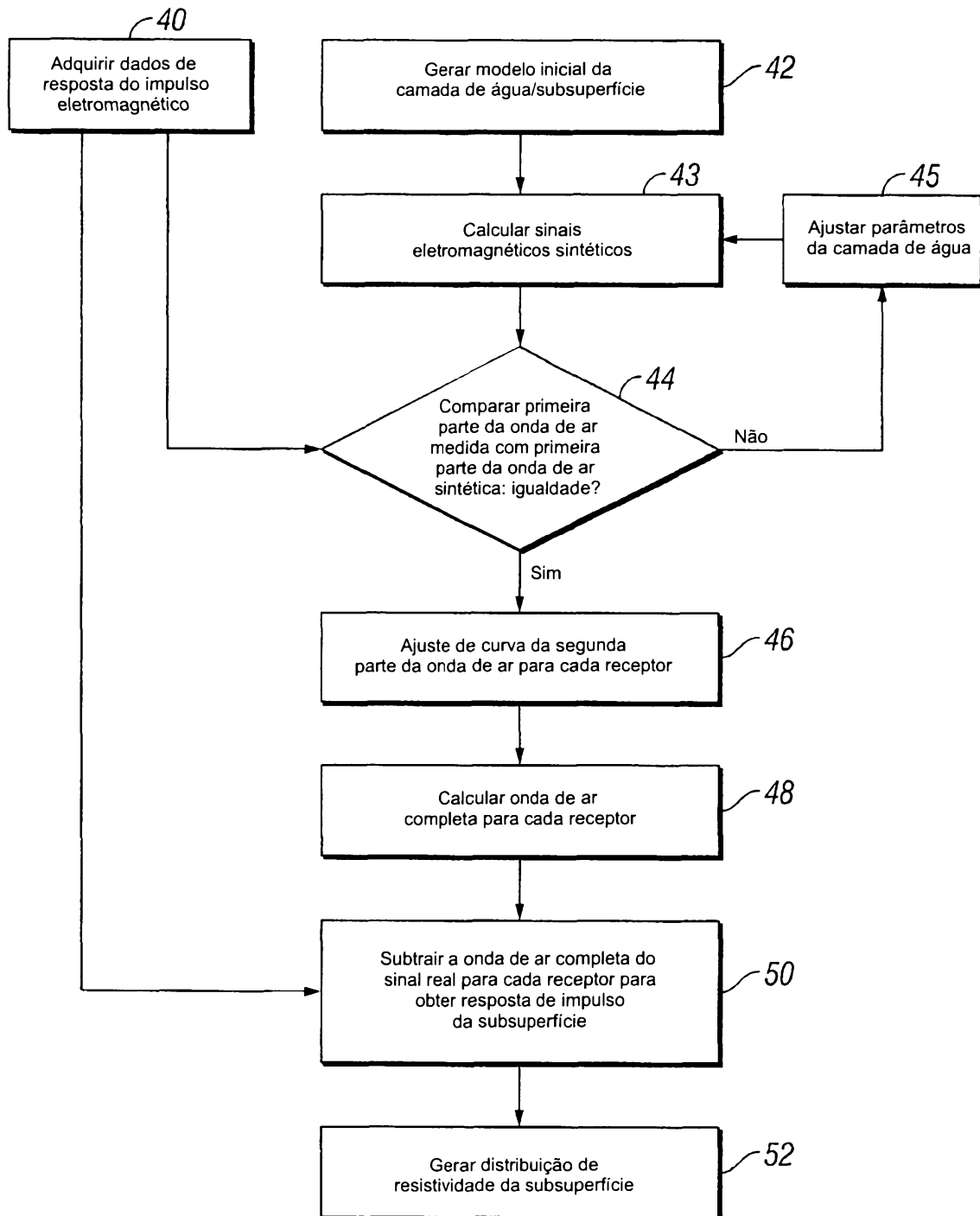


FIG. 5