



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

**(11) BR 112016010552-4 B1**



**(22) Data do Depósito: 13/12/2013**

**(45) Data de Concessão: 08/02/2022**

---

**(54) Título:** MÉTODO E FERRAMENTA DE PERFILAGEM DE RESSONÂNCIA MAGNÉTICA NUCLEAR, E, CONJUNTO DE COLUNA DE PERFURAÇÃO E DE PERFILAGEM DE WIRELINE

**(51) Int.Cl.:** G01V 3/32; G01V 3/34.

**(73) Titular(es):** HALLIBURTON ENERGY SERVICES, INC..

**(72) Inventor(es):** ARCADY REIDERMAN; LILONG LI.

**(86) Pedido PCT:** PCT US2013074932 de 13/12/2013

**(87) Publicação PCT:** WO 2015/088551 de 18/06/2015

**(85) Data do Início da Fase Nacional:** 10/05/2016

**(57) Resumo:** MÉTODO E FERRAMENTA DE PERFILAGEM DE RESSONÂNCIA MAGNÉTICA NUCLEAR, E, CONJUNTO DE COLUNA DE PERFURAÇÃO E DE PERFILAGEM DE WIRELINE Em alguns aspectos do que é descrito aqui, uma ferramenta de perfilagem de ressonância magnética nuclear (RMN) pode obter dados de RMN a partir de uma região subterrânea. A ferramenta de perfilagem de RMN inclui um conjunto de ímãs operáveis para produzir um campo magnético estático na região subterrânea. A ferramenta de perfilagem de RMN inclui um sistema de antena com uma primeira antena de radiofrequência (RF), uma segunda antena de RF e um sistema de comutação. O sistema de comutação pode comutar a segunda antena entre os modos de operação enquanto a ferramenta de perfilagem de RMN estiver disposta em um furo de poço na região subterrânea. Os modos de operação podem incluir um modo de reforço, um modo spoiler e um modo inativo.

“MÉTODO E FERRAMENTA DE PERFILAGEM DE RESSONÂNCIA MAGNÉTICA NUCLEAR, E, CONJUNTO DE COLUNA DE PERFURAÇÃO E DE PERFILAGEM DE WIRELINE”

### **REIVINDICAÇÃO DE PRIORIDADE**

[001] Este pedido é um Pedido Internacional de Estágio Nacional de nº U.S. PCT/US2013/074932, depositado em 13 de dezembro de 2013.

### **FUNDAMENTOS**

[002] Esta especificação refere-se a ferramentas de fundo de poço para aquisição de dados de ressonância magnética nuclear (RMN) de uma região subterrânea.

[003] No campo de perfilagem (por exemplo, perfilagem por cabo de aço, perfilagem durante a perfuração (*logging while drilling*, LWD) e medição durante a perfuração (*measurement while drilling*, MWD), ferramentas de ressonância magnética nuclear (RMN) têm sido usadas para explorar a subsuperfície com base nas interações magnéticas com material de subsuperfície. Algumas ferramentas de perfilagem RMN de fundo de poço incluem um conjunto de ímã que produz um campo magnético estático e um conjunto de antena que gera sinais de controle de radiofrequência (RF) e detecta fenômenos de ressonância magnética no material de subsuperfície. Propriedades do material de subsuperfície podem ser identificadas a partir dos fenômenos detectados.

### **DESCRIÇÃO DAS FIGURAS**

[004] A FIG. 1A é um diagrama de um exemplo de sistema de poço.

[005] A FIG. 1B é um diagrama de um exemplo de sistema de poço que inclui uma ferramenta de perfilagem por RMN em um ambiente de perfilagem wireline.

[006] A FIG. 1C é um diagrama de um exemplo de sistema de poço que inclui uma ferramenta de perfilagem por RMN em um ambiente de perfilagem durante a perfuração (LWD).

[007] A FIG. 2A é um diagrama de um exemplo de ferramenta de RMN.

[008] A FIG. 2B é um fluxograma que mostra um exemplo de processo para a operação de uma ferramenta de perfilagem por RMN.

[009] A FIG. 3 é um diagrama de um exemplo de ferramenta de perfilagem por RMN em uma região subterrânea.

[0010] A FIG. 4A é um diagrama de um exemplo de ferramenta de perfilagem por RMN em uma região subterrânea.

[0011] A FIG. 4B é um diagrama que mostra aspectos de um campo magnético gerado por uma simulação do exemplo de ferramenta de perfilagem por RMN na FIG. 4A.

[0012] A FIG. 5 é um diagrama que mostra exemplos de circuitos eletrônicos para uma ferramenta de perfilagem por RMN.

### **DESCRIÇÃO DETALHADA**

[0013] Esta especificação refere-se a ferramentas de fundo de poço para aquisição de dados de ressonância magnética nuclear (RMN) de uma região subterrânea. Em algumas implementações, uma ferramenta de perfilagem por RMN de multi-frequência tem um sistema de antena que inclui uma primeira antena e uma segunda antena. As primeira e segunda antenas podem ser conectadas uma a outra, ou podem ser desconectadas uma da outra. Em alguns casos, as antenas podem ser operadas em vários modos diferentes. Quando a segunda antena é conectada como um spoiler, ela pode operar para reduzir sinal de parte do volume sensível sobre a ferramenta de perfilagem por RMN (por exemplo, quando uma parte do volume sensível reside no furo perfurado, ou em outros casos). Quando a segunda antena está conectada como um reforço, ela pode operar para aumentar o sinal e a razão sinal-ruído, adicionando parte do volume sensível sobre a ferramenta de perfilagem por RMN. Quando a segunda antena não está conectada ou quando está conectada como um spoiler, a ferramenta de perfilagem por RMN pode operar em um

modo lateral (isto é, coletando dados de RMN principalmente a partir de um lado da ferramenta de perfilagem por RMN) para eliminar o sinal de furo perfurado indesejado. Quando a segunda antena está conectada como um reforço, a ferramenta de perfilagem por RMN pode operar em um modo amplo (isto é, coletar dados de RMN em substancialmente todas as direções radiais).

[0014] Em algumas implementações, a ferramenta de perfilagem por RMN é comutável entre estes vários modos de operação. Por exemplo, a ferramenta de perfilagem por RMN pode ser alterada com base no diâmetro do furo perfurado, no diâmetro do volume sensível, na frequência de operação, no tipo de lama do furo, na resistividade dos fluidos no furo perfurado ou uma combinação destes e de outros fatores. O modo de operação da ferramenta de perfilagem de RMN pode ser alterado enquanto a ferramenta de perfilagem por RMN reside no poço. Por exemplo, a ferramenta de perfilagem por RMN pode ser programada para adquirir dados de RMN com a segunda antena em vários modos diferentes de operação, enquanto a ferramenta de perfilagem por RMN reside em um único ponto de perfilagem ou a ferramenta de perfilagem por RMN pode ser programada para alterar os modos operacionais para diferentes pontos de perfilagem dentro de diferentes zonas de formação. A ferramenta de perfilagem por RMN pode incluir um sistema computacional integrado (on-board) que muda o sistema de antena durante uma sequência de perfilagem.

[0015] Em alguns casos, a capacidade de mudar entre os modos de operação melhora o desempenho ou permite funcionalidade adicional para uma ferramenta de perfilagem por RMN. Por exemplo, uma combinação dos modos lateral e amplo pode fornecer leituras de RMN azimutais sensíveis. Uma comparação dos dados laterais e amplos de um determinado ponto de perfilagem, por exemplo, pode indicar o grau de homogeneidade (ou falta de homogeneidade) rotacional da região subterrânea em relação ao ponto de

perfilagem. Em alguns casos, se a formação subterrânea em torno da ferramenta de perfilagem por RMN for rotacionalmente homogênea, então os dados de RMN relaxação para o modo lateral podem ser substancialmente os mesmos que os do modo amplo. Em alguns casos, as propriedades de formação não são rotacionalmente simétricas em relação ao eixo do poço, e as leituras laterais e as leituras amplas são substancialmente diferentes. Com base nas diferenças nos dados de RMN adquiridos nos vários modos de operação, um ângulo de mergulho ou outras propriedades de formação relacionadas à falta de homogeneidade rotacional podem ser estimadas ou calculadas.

[0016] A FIG. 1A é um diagrama de um exemplo de sistema de poço 100a. O sistema de exemplo de poço 100a inclui um sistema de perfilagem por RMN 108 e uma região subterrânea 120 abaixo da superfície do solo 106. Um sistema de poço pode incluir recursos adicionais ou diferentes que não são mostrados na FIG. 1A. Por exemplo, o sistema de poço 100a pode incluir componentes de sistema de perfuração adicionais, componentes de sistema por perfilagem wireline, etc.

[0017] A região subterrânea 120 pode incluir a totalidade ou parte de uma ou mais formações ou zonas subterrâneas. O exemplo de região subterrânea 120 mostrado na FIG. 1A inclui múltiplas camadas de subsuperfície 122 e um furo perfurado 104 penetrado através das camadas de subsuperfície 122. As camadas do subsolo 122 podem incluir camadas sedimentares, camadas rochosas, camadas de areia ou combinações destes outros tipos de camadas do subsolo. Uma ou mais das camadas de subsuperfície podem conter fluidos, como salmoura, óleo, gás, etc. Embora o exemplo de furo perfurado 104 mostrado na FIG. 1A seja um furo perfurado vertical, o sistema de perfilagem por RMN 108 pode ser implementado em outras orientações de furo perfurado. Por exemplo, o sistema de perfilagem por RMN 108 pode operar em furos perfurados horizontais, furos perfurados

inclinados, furos perfurados curvados, furos perfurados verticais ou combinações destes.

[0018] O exemplo de sistema perfilagem por RMN 108 inclui uma ferramenta de perfilagem por RMN 102, equipamentos de superfície 112 e um subsistema computacional 110. No exemplo mostrado na FIG. 1A, a ferramenta de perfilagem por RMN 102 é uma ferramenta de perfilagem de fundo de poço que opera enquanto disposta no furo perfurado 104. O exemplo de equipamento de superfície 112 mostrado na FIG. 1A opera na ou acima da superfície 106, por exemplo, próximo a cabeça do poço 105, para controlar a ferramenta de perfilagem por RMN 102 e possivelmente outros equipamentos de fundo de poço ou outros componentes do sistema de poço 100a. O exemplo de subsistema computacional 110 pode receber e analisar dados de perfilagem da ferramenta de perfilagem por RMN 102. Um sistema de perfilagem por RMN pode incluir recursos adicionais ou diferentes e os recursos de um sistema de perfilagem por RMN podem ser organizados e operados como representado na FIG. 1A ou de outra maneira.

[0019] Em alguns casos, a totalidade ou parte do subsistema computacional 110 pode ser implementada como um componente de, ou pode ser integrada com um ou mais componentes do equipamento da superfície 112, da ferramenta de perfilagem por RMN 102 ou ambos. Em alguns casos, o subsistema computacional 110 pode ser implementado como um ou mais sistemas computacionais discretos separados do equipamento de superfície 112 e da ferramenta de perfilagem por RMN 102.

[0020] Em algumas implementações, o subsistema computacional 110 está incorporado na ferramenta de perfilagem por RMN 102 e o subsistema computacional 110 e a ferramenta de perfilagem por RMN 102 podem operar simultaneamente enquanto posicionadas no furo perfurado 104. Por exemplo, embora o subsistema computacional 110 seja mostrado acima da superfície 106 no exemplo mostrado na FIG. 1A, a totalidade ou parte do subsistema

computacional 110 pode residir abaixo da superfície 106, por exemplo, na ou próximo à localização da ferramenta de perfilagem por RMN 102.

[0021] O sistema de poço 100a pode incluir equipamento de comunicação ou telemetria que permite comunicação entre o subsistema computacional 110, a ferramenta de perfilagem por RMN 102 e outros componentes do sistema de perfilagem por RMN 108. Por exemplo, os componentes do sistema de perfilagem por RMN 108 podem incluir cada um ou mais transceptores ou aparelhos semelhantes para a comunicação de dados com ou sem fio entre os diversos componentes. O sistema de perfilagem por RMN 108 pode incluir sistemas e aparelhos para telemetria de wireline, telemetria de cano com fio, telemetria de pulso de lama, telemetria acústica, telemetria eletromagnética ou uma combinação destas e de outros tipos de telemetria. Em alguns casos, a ferramenta de perfilagem por RMN 102 recebe comandos, sinais de status ou outros tipos de informações a partir do subsistema computacional 110 ou outra fonte. Em alguns casos, o subsistema computacional 110 recebe dados de perfilagem, sinais de status ou outros tipos de informações a partir da ferramenta de perfilagem por RMN 102 ou outra fonte.

[0022] Operações de perfilagem por RMN podem ser realizadas em conexão com diversos tipos de operações de fundo de poço em diversos estágios na vida de um sistema de poço. Atributos estruturais e componentes do equipamento de superfície 112 e da ferramenta de perfilagem por RMN 102 podem ser adaptados para diversos tipos de operações de perfilagem por RMN. Por exemplo, a perfilagem por RMN pode ser realizada durante operações de perfuração, durante operações de perfilagem wireline ou em outros contextos. Como tal, o equipamento de superfície 112 e a ferramenta de perfilagem por RMN 102 podem incluir ou operar em conexão com o equipamento de perfuração, equipamento de perfilagem wireline ou outro equipamento para outros tipos de operações.

[0023] Em alguns exemplos, a perfilagem por RMN é realizada durante operações de perfilagem wireline. A FIG. 1B mostra um exemplo de sistema de poço 100b que inclui a ferramenta de perfilagem por RMN 102 em um ambiente de perfilagem wireline. Em alguns exemplos de operações de perfilagem wireline, o equipamento de superfície 112 inclui uma plataforma acima da superfície 106 equipada com uma torre (*derrick*) 132 que suporta um cabo wireline 134 que se estende para o furo perfurado 104. Operações de perfilagem wireline podem ser realizadas, por exemplo, após uma coluna de perfuração ser removida do furo perfurado 104, para permitir que uma ferramenta de perfilagem por RMN 102 seja abaixada por cabo wireline ou de perfilagem para dentro do poço 104.

[0024] Em alguns exemplos, operações de perfilagem por RMN são realizadas durante operações de perfuração. A FIG. 1C mostra um exemplo de sistema de poço 100c que inclui a ferramenta de perfilagem por RMN 102 em um ambiente de perfilagem durante a perfuração (LWD). A perfuração é geralmente realizada utilizando uma coluna de tubos de perfuração, conectados entre si para formar uma coluna de perfuração 140 que é abaixada através de uma mesa rotativa dentro do furo perfurado 104. Em alguns casos, uma sonda de perfuração 142 na superfície 106 apoia a coluna de perfuração 140, enquanto a coluna de perfuração 140 é operada para perfurar um furo perfurado, penetrando a região subterrânea 120. A coluna de perfuração 140 pode incluir, por exemplo, uma haste de perfuração (*kelly*), tubo de perfuração, um conjunto de fundo de poço e outros componentes. O conjunto de fundo de poço na coluna de perfuração pode incluir colares de perfuração, brocas de perfuração, a ferramenta de perfilagem por RMN 102 e outros componentes. As ferramentas de perfilagem podem incluir ferramentas de medição durante a perfuração (MWD), ferramentas de LWD e outras.

[0025] Em alguns casos de operação, a ferramenta de perfilagem por RMN 102 obtém medições de RMN da região subterrânea 120. Como

mostrado, por exemplo, na FIG. 1B, a ferramenta de perfilagem por RMN 102 pode ser suspensa no furo perfurado 104 por uma tubulação enrolada em bobina, cabo qireline ou outra estrutura que conecte a ferramenta a uma unidade de controle de superfície ou a outros componentes do equipamento de superfície 112. Em alguns exemplos de implementações, a ferramenta de perfilagem de RMN 102 é abaixada para o fundo de uma região de interesse e, subsequentemente, movida para cima (por exemplo, a uma velocidade substancialmente constante) através da região de interesse. Como mostrado, por exemplo, na FIG. 1C, a ferramenta de perfilagem de RMN 102 pode ser implantada no furo perfurado 104 em tubo de perfuração articulado, tubo de perfuração com fios ou outro hardware de implantação. Em alguns exemplos de implementações, a ferramenta de perfilagem por RMN 102 coleta os dados durante as operações de perfuração, à medida que se move no sentido descendente através da região de interesse. Em alguns casos, a ferramenta de perfilagem de RMN 102 coleta os dados enquanto a coluna de perfuração 140 está em movimento, por exemplo, enquanto está sendo movida para fora ou para dentro do furo perfurado 104.

[0026] Em algumas implementações, a ferramenta de perfilagem por RMN 102 coleta dados em pontos de perfilagem discretos no furo perfurado 104. Por exemplo, a ferramenta de perfilagem por RMN 102 pode mover-se para baixo ou para cima, de forma incremental, para cada ponto de perfilagem em uma série de profundidades no furo perfurado 104. Em cada ponto de perfilagem, instrumentos na ferramenta de perfilagem por RMN 102 realizam medições na região subterrânea 120. Os dados de medição podem ser comunicados ao subsistema computacional 110 para armazenamento, processamento e análise. Tais dados podem ser coletados e analisados durante as operações de perfuração (por exemplo, durante operações de perfilagem durante a perfuração, LWD), durante operações de perfilagem wireline ou durante outros tipos de atividades.

[0027] O subsistema computacional 110 pode receber e analisar os dados de medição a partir da ferramenta de perfilagem por RMN 102 para detectar propriedades de diversas camadas de subsuperfície 122. Por exemplo, o subsistema computacional 110 pode identificar a densidade, o conteúdo de fluido ou outras propriedades das camadas de subsuperfície 122 com base nas medições de RMN adquiridas pela ferramenta de perfilagem por RMN 102 no furo perfurado 104.

[0028] Em algumas implementações, a ferramenta de perfilagem por RMN 102 obtém sinais de RMN polarizando spins nucleares na região subterrânea 120 e pulsando os núcleos com um campo magnético de radiofrequência (RF). Diversas sequências de pulso (isto é, uma série de pulsos de RF) podem ser utilizadas para obter sinais de RMN, incluindo a sequência Carr Purcell Meiboom Gill (CPMG) (na qual os spins são primeiro ponteados utilizando um pulso de ponteamto seguido por uma série de pulsos de refocalização), uma Sequência de Pulso de Reorientação Otimizada (*Optimized Refocusing Pulse Sequence*, ORPS) na qual os pulsos de ponteamto são menores do que  $90^\circ$  e os pulsos de refocalização são menores que  $180^\circ$  e outras sequências de pulso. Os sinais de spin-eco adquiridos podem ser invertidos para uma distribuição de tempo de relaxação (por exemplo, uma distribuição de uma tempos de relaxação transversal  $T_2$  ou um tempo de relaxação longitudinal  $T_1$ ). A distribuição de tempo de relaxação pode ser utilizada para determinar diversas propriedades físicas da formação por meio da resolução de um ou mais problemas inversos.

[0029] Em algumas implementações, a ferramenta de perfilagem por RMN 102 pode ser operada em vários modos diferentes de operação, enquanto disposta no furo perfurado 104. Por exemplo, a ferramenta de perfilagem por RMN 102 pode ser variável entre um modo lateral e um modo amplo da operação. No modo lateral, a ferramenta de perfilagem por RMN 102 é mais sensível a excitação por RMN de um lado da ferramenta e menos

sensível a excitação por RMN do outro lado. O lado mais sensível da ferramenta é normalmente pressionado contra a parede interna do furo perfurado. Por exemplo, a ferramenta de perfuração por RMN pode ser deslocada a partir do centro do furo perfurado, proporcionando assim uma maior profundidade de investigação no sentido de sensibilidade. O modo lateral de operação pode ser útil, por exemplo, para furos perfurados de maior diâmetro ou em outros casos.

[0030] No modo amplo da operação, a ferramenta de perfilagem por RMN 102 é tipicamente sensível a excitação por RMN em todas as direções radiais sobre a ferramenta. Por exemplo, a ferramenta de perfilagem por RMN 102 pode ter uma região de forma circular ou em forma oval de sensibilidade. O modo amplo de operação pode ser útil, por exemplo, em furos perfurados de menor diâmetro e em outros casos. A ferramenta de perfilagem por RMN no modo amplo pode ser operada no centro radial do furo perfurado ou em uma posição radialmente deslocada para dentro do furo perfurado (por exemplo, pressionada contra a parede interna do furo perfurado).

[0031] Em algumas implementações, a ferramenta de perfilagem por RMN 102 inclui um sistema de antena que é mutável entre os diferentes modos de operação. Por exemplo, o sistema da antena pode incluir um sistema de comutação que comuta o sistema de antena entre o modo lateral e o modo amplo ou entre diferentes configurações do modo lateral.

[0032] Em alguns casos, a ferramenta de perfilagem por RMN 102 alterna entre diferentes modos de operação, enquanto disposta no furo perfurado 104. Por exemplo, a ferramenta de perfilagem por RMN 102 pode alternar entre o modo lateral e o modo amplo, enquanto disposta em um único ponto de perfilagem. A ferramenta de perfilagem por RMN 102 pode adquirir dados de perfilagem de RMN a partir de um único ponto de perfilagem, tanto no modo lateral quanto no modo amplo ou a ferramenta de perfilagem por RMN 102 pode adquirir dados de perfilagem de RMN a partir de uma

primeira série de pontos de perfilagem no modo lateral e a partir de uma segunda série de pontos de perfilagem no modo amplo.

[0033] Em alguns casos, o sistema de antena da ferramenta de perfilagem por RMN 102 é alterado entre diferentes configurações, no modo lateral da operação. Por exemplo, o modo lateral podem operar com ou sem um spoiler. O spoiler pode ser utilizado, por exemplo, para suprimir o sinal de RMN do lado menos sensível da ferramenta de perfilagem. Em alguns casos, o modo lateral opera sem o spoiler e o sinal de RMN do lado menos sensível da ferramenta não é suprimido de forma ativa.

[0034] Uma série de fatores podem ser considerados ao determinar o modo de operação da ferramenta de perfilagem por RMN 102 para um determinado ponto de perfilagem por RMN 104. Por exemplo, o diâmetro do furo perfurado, a profundidade de investigação, a frequência de operação, o tipo de fluido no furo perfurado 104 ou uma combinação destes e de outros fatores podem ser considerados. Em alguns casos, a ferramenta de perfilagem por RMN 102 é uma ferramenta multi-frequência. Em outras palavras, a ferramenta de perfilagem por RMN 102 pode operar em múltiplas radio frequências distintas ao longo de uma faixa, e cada RF pode corresponder a uma profundidade diferente da investigação sobre o furo perfurado 104.

[0035] Geralmente, frequências mais baixas correspondem a uma maior profundidade de investigação, enquanto frequências mais altas correspondem a menor profundidade de investigação. O modo amplo de operação pode ser útil, por exemplo, em frequências mais baixas, quando a profundidade de investigação se estende muito além de todos os lados do furo perfurado 104. O modo lateral pode ser útil, por exemplo, em frequências mais altas, quando a profundidade de investigação não se estende a uma distância substancial para além da parede do furo perfurado em uma ou mais direções radiais.

[0036] O modo amplo de operação também pode ser útil, por

exemplo, para obter a razão sinal-para-ruído quando o furo perfurado é preenchido com lama de perfuração à base de óleo ou de outro tipo de fluidos à base de óleo. Fluidos à base de óleo são geralmente não condutores e conduzem a uma menor perda de sinal de RMN (em comparação, por exemplo, com fluidos à base de água). Fluidos à base de água (por exemplo, lamas de perfuração à base de água, solução salina, etc.) são geralmente condutores e levam a uma menor razão de sinal-para-ruído. Como tal, o modo lateral de operação pode ser útil quando o furo perfurado 104 está preenchido com fluidos à base de água, por exemplo, para reduzir a quantidade de perda de energia e a perda de razão de sinal-para-ruído devido aos fluidos à base de água no furo perfurado.

[0037] Além disso, o modo amplo de operação pode ser útil para aumentar a razão sinal-para-ruído em furos perfurados menores (por exemplo, um furo perfurado de diâmetro de 8 polegadas) quando a região sensível detectada pela ferramenta de perfilagem por RMN 102 se estende para além da parede do furo perfurado em todas as direções. O modo lateral de operação pode ser útil em furos perfurados maiores (por exemplo, um diâmetro de perfuração de 14 polegadas) quando a região sensível detectada pela ferramenta de perfuração por RMN 102 não se estende para além da parede do poço em uma ou mais direções radiais.

[0038] Pode ser útil alterar o modo de operação da ferramenta de perfuração por RMN 102 enquanto a ferramenta de perfuração por RMN 102 está disposta no furo perfurado 104 (por exemplo, em um ponto de perfilagem único ou entre pontos de perfilagem diferentes). Por exemplo, a frequência de operação de perfilagem por RMN 102, o conteúdo de fluido do furo perfurado 104 e outros fatores podem mudar enquanto a ferramenta de perfilagem por RMN 102 está disposta no furo perfurado 104. Além disso, pode ser útil comparar os dados coletados em diferentes modos de funcionamento, mesmo quando o ambiente operacional mantém-se inalterado.

[0039] Em alguns casos, a ferramenta de perfilagem por RMN 102 pode ser alterada entre o modo amplo e o modo lateral para uma comparação dos dados de RMN obtidos em cada modo. Em alguns exemplos, a ferramenta de perfilagem por RMN 102 pode ser alterada entre o modo lateral com o spoiler ativo e o modo lateral com o spoiler inativo (por exemplo, para diferentes profundidades de investigação em um único ponto de perfilagem no furo perfurado 104) . Por exemplo, o spoiler pode ser desativado para aumentar o sinal para maiores profundidades de investigação (isto é, de frequência mais baixa), e o spoiler pode ser ativado para cancelar o sinal a partir de lamas à base de água para profundidades menores de investigação (isto é, maior frequência).

[0040] Em alguns casos, a ferramenta de perfilagem por RMN 102 pode incluir um sistema de antena tendo uma antena principal e uma antena secundária, e o campo magnético gerado pelas duas antenas pode ser variado ao mudar a direção da corrente sobre uma das bobinas de modo que as bobinas trabalham em conjunto de forma aditiva ou umas contra as outras. O campo magnético gerado pelas duas antenas pode ser variado a ao desativar ou ativar uma das bobinas. Em alguns casos, a direção da corrente na bobina secundária determina a forma da região sensível da ferramenta de perfilagem por RMN 102. Por exemplo, a bobina secundária pode ser operada em um modo de reforço em que a ferramenta de perfilagem por RMN é sensível em todas as direções radiais, ou a bobina secundária pode ser operada no modo de spoiler no qual a ferramenta de perfilagem por RMN 102 é substancialmente mais sensível em uma direção radial do que na direção radial oposta.

[0041] Em alguns casos, a ferramenta de perfilagem por RMN 102 pode ser adaptada para furos perfurados com diâmetros diferentes. Como um exemplo, o modo de operação de alguns exemplos de ferramentas de perfilagem por RMN pode ser alterado dependendo do tamanho do furo perfurado: a ferramenta pode operar no modo amplo em furos perfurados

menores (por exemplo, com cerca de um diâmetro de sete polegadas ou menor), a ferramenta pode alternar entre os modos amplo e lateral em furos perfurados médios (por exemplo, a partir de cerca de oito polegadas até doze polegadas de diâmetro), ou a ferramenta pode operar em um modo lateral em furos perfurados maiores (por exemplo, aproximadamente 12 polegadas de diâmetro ou maior). O modo de operação da ferramenta de perfilagem por RMN 102 pode explicar o tamanho do furo perfurado de uma outra maneira.

[0042] A FIG. 2A é um diagrama de um exemplo de ferramenta de RMN 202. A ferramenta de perfilagem por RMN 202 pode ser operada como o exemplo de ferramenta de perfilagem por RMN 102 mostrado nas FIGS. 1A, 1B, e 1C, ou a ferramenta de perfilagem por RMN 202 pode ser operada de outra maneira. Em alguns casos, a ferramenta de perfilagem por RMN 202 pode ser operada de acordo com o exemplo do processo 250 mostrado na FIG. 2B, ou a ferramenta de perfilagem por RMN 202 pode ser operada de outra maneira.

[0043] O exemplo de ferramenta de perfilagem por RMN mostrado na FIG. 2A inclui um sistema de ímã principal 204, um transmissor 206, um sistema de antena 208, um receptor 210, um controlador 212, uma memória 214 e uma interface de comunicação 216. A ferramenta de perfilagem por RMN 202 pode incluir características adicionais ou diferentes (por exemplo, um sistema de gradiente, etc) e as características da ferramenta de perfilagem por RMN 202 podem ser configuradas como mostrado na FIG. 2A ou de uma outra maneira. Em alguns casos, o exemplo de ferramenta de perfilagem por RMN 202 pode incluir os recursos apresentados e descritos em relação às FIGS. 3, 4A, 4B e 5. Em alguns casos, a ferramenta de perfilagem por RMN é incluída em uma coluna de perfuração e operada em um contexto de perfuração enquanto disposta em um furo perfurado em uma formação subterrânea. Em alguns casos, a ferramenta de perfuração por RMN 202 é operada em um contexto de perfilagem wireline, enquanto tendo suporte em

um furo perfurado por um sistema wireline. A ferramenta de perfuração por RMN 202 pode ser operada em outros contextos e para outros fins.

[0044] O exemplo de sistema principal de íma 204 pode incluir vários ímãs permanentes adaptados para criar um campo magnético sobre a ferramenta de perfuração por RMN 202. O sistema principal de ímã 204 pode produzir um campo magnético estático que é designado para polarizar spins nucleares em um volume de uma formação subterrânea sobre o furo perfurado. Em alguns casos, o campo magnético estático gerado pelo sistema principal de ímã 204 é substancialmente uniforme ao longo de uma região de interesse, mas em alguns casos, o campo magnético estático não precisa ser uniforme.

[0045] O exemplo de transmissor 206 pode gerar e enviar um sinal de acionamento de RF ao sistema de antena 208. O transmissor 206 pode receber os dados de entrada a partir do controlador 212, da memória 214 ou de outra fonte. Em alguns casos, o sinal de acionamento de RF gerado pelo transmissor 206 inclui uma sequência de pulso aplicada pelo sistema de antena 208.

[0046] O exemplo de sistema de antena 208 pode receber o sinal de acionamento de RF do transmissor 206 e gerar um campo magnético de RF sobre a ferramenta de perfuração por RMN 202. O campo magnético de RF gerado pelo sistema de antena 208 pode ser, por exemplo, um pulso de RF que manipula o sentido de polarização de spins nucleares na região de interesse sobre o furo perfurado. O sistema de antena 208 pode receber uma corrente a partir do transmissor 206 e produzir um campo dipolar de RF com base na corrente. Quando coletando dados de RMN, o sistema de antena 208 se acopla magneticamente com os spins nucleares na região subterrânea, o que produz um sinal de detecção de RF nas antenas. O sistema de antena 208 pode emitir o sinal de detecção para o receptor 210.

[0047] O exemplo de receptor 210 pode receber o sinal de detecção de RF a partir do sistema de antena 208. O receptor 210 pode fornecer o sinal de

detecção de RF recebido para o controlador 212, a memória 214, a interface de comunicação 216 ou para outra localização. Em alguns casos, o receptor 210 pode digitalizar ou pré-processar o sinal de detecção de RF a partir do sistema de antena 208.

[0048] O exemplo de controlador 212 pode controlar a operação da ferramenta de perfilagem 202. Por exemplo, o controlador 212 pode controlar o transmissor 206 e o receptor 210 para controlar sequências de pulso aplicadas pelo sistema de antena 208, e para controlar a detecção dos sinais de RMN pelo sistema de antena 208. O controlador 212 pode ser, por exemplo, um controlador eletrônico digital, um microprocessador programável, ou qualquer outro tipo de aparelho de processamento de dados.

[0049] O exemplo de memória 214 pode incluir qualquer tipo de armazenamento de dados, memória de computador ou outro tipo de meio legível por computador. Em alguns casos, a memória 214 pode armazenar instruções legíveis por máquina que são executadas pelo controlador 212 para operar a ferramenta de perfilagem por RMN 202. Em alguns casos, a memória 214 pode armazenar um programa de pulso que especifica uma ou mais sequências de pulsos a serem aplicadas pelo sistema de antenas 208. A memória 214 pode armazenar dados de RMN adquiridos pela ferramenta de perfilagem por RMN 202. Por exemplo, a memória 214 pode armazenar dados de perfilagem de RMN obtidos a partir de uma região subterrânea. A memória 214 pode armazenar tipos adicionais ou diferentes de dados.

[0050] O exemplo de interface de comunicação 216 permite que a ferramenta de perfilagem de RMN 202 faça interface com outras ferramentas, sistemas ou links de comunicação. Em alguns casos, a interface de comunicação 216 inclui uma porta de dados que permite que as sequências de pulsos sejam carregadas na memória 214 ou programadas no controlador 212. Em alguns casos, a interface de comunicação 216 inclui uma porta de dados que permite que dados de perfilagem por RMN sejam comunicados a partir da

ferramenta de perfilação por RMN 202 para um sistema computacional ou base de dados externos. Em alguns casos, a interface de comunicação 216 transmite os dados de perfilação por RMN a partir da ferramenta de perfilação por RMN 202 enquanto a ferramenta de perfilação por RMN 202 está disposta dentro de um furo perfurado em uma formação subterrânea. Por exemplo, os dados de perfilação por RMN podem ser transmitidos para um sistema computacional ou a outro destino na superfície.

[0051] O exemplo de sistema de antena 208 mostrado na FIG. 2A inclui um sistema de comutação 218, uma antena principal 220 e uma antena secundária 222. O sistema de antena 208 pode incluir características adicionais ou diferentes, e as características do sistema de antena 208 podem ser dispostas como mostrado na FIG. 2A ou de uma outra maneira. As antenas primárias e secundárias podem ser estruturalmente idênticas, ou diferentes estruturas de antena podem ser usadas. Em alguns casos, o sistema de antena 208 inclui mais de duas antenas.

[0052] No exemplo mostrado na FIG. 2A, a antena secundária 222 é comutável entre vários modos de operação diferentes. Em algumas implementações, os modos de operação para a antena secundária 222 incluem um modo de reforço, de um modo spoiler e um modo inativo. O sistema de comutação 218 pode alternar a antena secundária 222, entre os diferentes modos de operação, enquanto a ferramenta de perfilação de RMN 202 está disposta no furo perfurado. Por exemplo, o controlador 212 pode manipular o sistema de comutação 218 para reverter a polaridade da antena secundária 222 em relação à antena primária 220, ou para ativar a antena secundária 222 ou para desativar a antena secundária 222. Em alguns casos, o controlador 212 manipula o sistema de comutação 218 com base em uma sequência de perfilação ou outras instruções armazenadas na memória 214. Em alguns casos, o controlador 212 manipula o sistema de comutação 218 em resposta às instruções recebidas pela interface de comunicação 216 (por exemplo, sinais

de controle recebidos a partir da superfície), enquanto a ferramenta de perfilagem por RMN 202 está disposta no furo perfurado.

[0053] O sistema de comutação 218 pode ser o exemplo de sistema de comutação mostrado na FIG. 5, ou outro tipo de sistema de comutação pode ser usado. O sistema de comutação 218 pode controlar o modo de operação da ferramenta de perfilagem por RMN 202, selecionando o modo de operação de uma ou mais antenas do sistema de antenas 208. Por exemplo, o sistema de comutação 218 pode mudar a antena secundária 222 para um modo de reforço para mudar a ferramenta de perfuração de RMN 202 para o modo amplo; ou o sistema de comutação 218 pode mudar a antena secundária 222 para um modo de spoiler ou um modo ativo para operar a ferramenta de perfuração de RMN 202 no modo lateral.

[0054] No exemplo mostrado na FIG. 2A, a antena principal 220 e a antena secundária 222 estão configuradas para produzir os respectivos campos de dipolo magnéticos de RF. A orientação do campo dipolo gerado pela antena secundária 222 no que diz respeito à orientação do campo dipolo gerado pela antena principal 220 depende de se a ferramenta de perfilagem por RMN 202 é operada no modo de spoiler ou no modo de reforço. Em alguns casos, a antena secundária 222 está em um modo inativo e produz substancialmente nenhum campo magnético de RF (por exemplo, mesmo quando a antena principal 220 produz um campo dipolo magnético de RF).

[0055] Em algumas implementações, quando operado no modo de reforço durante a porção de transmissão da sequência de pulso, o campo magnético da antena secundária 222 divide o mesmo sentido que a antena principal 220, com ambos os campos sendo substancialmente paralelos. Os campos podem se combinar para formar um campo magnético de RF que corresponde a um dos isogramas do campo magnético estático gerado pelo sistema magnético principal 204. Durante a porção de recepção da sequência de pulso, ambas as antenas podem receber sinais a partir da região

subterrânea. Como tal, a antena principal 220 e a antena secundária 222 podem operar durante as duas porções de transmissão e de recepção da sequência de pulsos.

[0056] Em algumas implementações, quando operado no modo spoiler, a antena secundária 222 funciona apenas durante a porção de transmissão da sequência de pulso e pode funcionar ou ser inativa durante a porção de recepção da sequência de pulso. No modo de spoiler de operação, a antena secundária 222 gera um campo magnético que se opõe e é anti-paralelo ao da antena principal 220. O campo magnético gerado pela antena secundária 222 pode fazer com que um campo magnético na parte traseira da ferramenta de perfilagem por RMN 202 desapareça substancialmente, sem suprimir o campo magnético na parte frontal da ferramenta de perfilagem por RMN 202. Desta maneira, a ferramenta de perfuração de RMN 202 pode ser usada como um dispositivo de RMN lateral.

[0057] Em algumas implementações, quando operada no modo inativo, a antena secundária 222 está inativa durante tanto a porção de transmissão e a porção de recepção da sequência de pulso aplicada pelo sistema de antena 208. Como tal, a antena secundária 222 não suprime o campo magnético na parte traseira da ferramenta, em tais casos. No modo lateral de operação sem um spoiler ativo, a ferramenta de perfilagem de RMN 202 gera uma região sensível no lado frontal da ferramenta de perfilagem por RMN, em virtude da antena principal 220 estando disposta mais próxima do lado frontal da ferramenta de perfuração de RMN do que do lado de trás. Como tal, a antena principal 220 funcionando sem a antena secundária 222 pode gerar uma região sensível no lado da frente da ferramenta de perfilagem de RMN 202 sem necessariamente requerer a operação da antena spoiler.

[0058] Em alguns casos, o exemplo de sistema de comutação 218 é comutável entre pelo menos três configurações no exemplo mostrado na FIG. 2A. Quando o sistema de comutação 218 está em configuração de spoiler, a

antena principal 220 e a antena secundária 222 estão ativas e configuradas para produzir os respectivos campos dipolo magnéticos de RF com sentidos opostos. Em outras palavras, os campos dipolo magnéticos produzidos pelas antenas primárias e secundárias são anti-paralelos e geralmente alinhados sobre um eixo comum. Quando o sistema de comutação 218 está em uma configuração de reforço, a antena principal 220 e a antena secundária 222 estão ativas e configuradas para produzir os respectivos campos dipolo magnéticos de RF tendo uma orientação comum. Em outras palavras, os campos dipolo magnéticos produzidos das antenas primárias e secundárias são paralelos e geralmente alinhados sobre um eixo comum. Quando o sistema de comutação 218 se encontra em uma configuração sem spoiler, a antena principal 220 está ativa e configurada para produzir um campo dipolo magnético de RF e a antena secundária 222 está inativa. Em outras palavras, a antena secundária 222 está configurada para não produzir um campo magnético em qualquer grau significativo. O sistema de comutação 218 pode controlar antenas adicionais, e o sistema de comutação 218 pode controlar as antenas de um modo diferente.

[0059] A FIG. 2B é um fluxograma que mostra um exemplo de processo 250 para a operação de uma ferramenta de perfilagem por RMN. O exemplo de processo 250 pode ser usado para operar o exemplo de ferramenta de perfilagem por RMN 102 mostrado na FIG. 1, o exemplo de ferramenta de perfilagem por RMN 202 mostrado na FIG. 2, ou outro tipo de ferramenta de perfilagem por RMN. O exemplo do processo 250 pode ser usado em um contexto de perfilagem durante a perfuração, em um contexto de perfilagem wireline ou em outro contexto. O exemplo de processo 250 pode incluir operações adicionais ou diferentes, e as operações do exemplo de processo 250 podem ser realizadas na ordem mostrada ou em outra ordem. Em alguns casos, uma ou mais das operações do exemplo de processo 250 podem ser repetidas ou iteradas, por exemplo, até que uma condição de conclusão seja

atingida. Em alguns casos, uma ou mais das operações podem ser executadas simultaneamente, em paralelo, em série ou de outro modo.

[0060] Em 252, a ferramenta de perfuração de RMN é preparada para operações madeireiras. Por exemplo, a ferramenta de perfilagem por RMN pode ser preparada para operações de perfilagem antes que a ferramenta de perfilagem por RMN entre no furo perfurado. A preparação da ferramenta de perfilagem por RMN para a operação pode incluir, por exemplo, a programação da ferramenta de perfilagem por RMN para executar uma sequência de perfilagem, armazenando uma ou mais sequências de pulsos sobre a ferramenta de perfilagem por RMN ou outros tipos de operações. Em alguns casos, a preparação da ferramenta de perfuração por RMN para a operação inclui a pré-seleção de um ou mais modo de operação para a ferramenta de perfilagem por RMN. Por exemplo, a ferramenta de perfilagem por RMN pode ser programada para operar em um modo lateral, um modo amplo ou de outro modo a uma ou mais localizações no furo perfurado. Como outro exemplo, a ferramenta de perfuração por RMN pode ser programada para operar uma ou mais antenas do sistema de antena em um modo de reforço, modo spoiler ou em um modo inativo a uma ou mais localizações do furo perfurado.

[0061] Antes ou após da ferramenta de perfilagem por RMN ter sido preparada para operações de perfilagem, a ferramenta de perfilagem por RMN é baixada em um furo perfurado definido em uma região subterrânea. Por exemplo, a ferramenta de perfuração por RMN pode ser executada dentro do furo perfurado em um conjunto de perfilagem wireline, ou a ferramenta de perfuração por RMN pode ser transportada em uma coluna de perfuração conforme o conjunto de perfuração opera para perfurar o furo perfurado na região subterrânea.

[0062] Em 254, um modo de operação da ferramenta de perfilagem por RMN é selecionado. O modo de operação da ferramenta de perfilagem de

RMN pode ser, por exemplo, o modo lateral no qual a ferramenta de perfuração por RMN está adaptada para detectar uma proporção consideravelmente mais elevada do sinal de RMN a partir de um primeiro sentido radial do que um segundo sentido radial oposto. No modo lateral, a ferramenta de perfuração por RMN pode definir uma região sensível de um lado do furo perfurado, sendo menos sensível ou insensível para o lado oposto do furo perfurado. O modo de operação da ferramenta de perfuração por RMN pode ser, por exemplo, o modo amplo, em que a ferramenta de perfuração por RMN está adaptada para detectar sinais de RMN a partir de substancialmente todos os sentidos radiais em relação à ferramenta de perfuração por RMN. Por exemplo, a ferramenta de perfuração por RMN pode ser configurada para detectar uma proporção igual de sinal de RMN de ambos os lados dianteiro e traseiro da ferramenta de perfuração por RMN.

[0063] Em alguns casos, a seleção do modo de operação da ferramenta de perfuração por RMN inclui a configuração de um sistema de comutação da ferramenta de perfuração por RMN com a determinada configuração. Por exemplo, o sistema de comutação pode ser configurado para ativar a antena secundária da ferramenta de perfuração por RMN em um modo spoiler ou em um modo de reforço. Como outro exemplo, o sistema de comutação pode ser configurado para desativar a antena secundária da ferramenta de perfuração por RMN, tornando inativa a antena secundária.

[0064] Em 256, a ferramenta de perfuração por RMN é posicionada no furo perfurado. O posicionamento da ferramenta de perfuração por RMN no furo perfurado pode incluir a seleção de uma profundidade da ferramenta de perfuração por RMN. Por exemplo, a ferramenta de perfuração por RMN pode ser operada em uma matriz de pontos de perfuração discretos ao longo da profundidade do furo perfurado, ou a ferramenta de perfuração de RMN pode ser operada através de uma faixa contínua de pontos de perfuração ao longo da profundidade do furo perfurado.

[0065] Em alguns casos, o posicionamento da ferramenta de perfilagem por RMN no furo perfurado inclui a seleção de uma posição radial da ferramenta de perfilagem por RMN. Por exemplo, a ferramenta de perfilagem por RMN pode ser posicionada em um centro radial do furo perfurado para adquirir sinais de perfilagem por RMN a partir de todos os sentidos sobre o furo perfurado (no modo amplo). Como outro exemplo, a ferramenta de perfilagem por RMN pode ser posicionada em uma posição radialmente deslocada no furo perfurado. Na posição deslocada radialmente, a ferramenta de perfilagem por RMN pode se encostar na parede lateral do furo de poço, ou a parte frontal da ferramenta de perfilagem por RMN pode estar substancialmente mais próxima a um lado do furo perfurado do que o lado oposto. Por exemplo, o eixo longitudinal da ferramenta de perfuração por RMN pode ser paralelo ao eixo longitudinal do furo perfurado, mas radialmente deslocada em direção a uma das paredes laterais do furo perfurado. A ferramenta de perfuração por RMN pode operar no modo lateral, no modo amplo ou outro modo de operação na posição radialmente deslocada.

[0066] Em 258, a ferramenta de perfuração por RMN é operada dentro do poço. Geralmente, a operação da ferramenta de perfuração por RMN pode incluir a geração de campos magnéticos de RF, aquisição de sinais de RF ou outros tipos de operações de ferramenta de perfilagem por RMN. Em alguns casos, um campo magnético de RF é gerado pela operação do sistema de antena da ferramenta de perfilagem por RMN, enquanto a antena secundária da ferramenta de perfilagem por RMN está no modo de operação selecionado (por exemplo, modo de spoiler, modo de reforço, modo inativo, etc. ). Em alguns casos, após o campo magnético de RF ser gerado pelo sistema de antena, o sistema de antena é operado em um modo de recepção para adquirir sinais de perfilagem por RMN da região subterrânea.

[0067] Em 260, o modo de operação da ferramenta de perfilagem por RMN é alterado. Por exemplo, a ferramenta de perfilagem por RMN pode ser

variável entre um modo lateral e um modo amplo da operação. Como outro exemplo, o sistema de antena da ferramenta de perfilagem por RMN pode ser alterado entre um modo de spoiler e um modo de reforço, ou um modo ativo e um modo inativo. O modo de operação da ferramenta de perfilagem de RMN pode ser alterado enquanto a ferramenta de perfilagem por RMN reside no poço.

[0068] O modo de operação da ferramenta de perfilagem de RMN pode ser alterado de vários modos enquanto a ferramenta de perfilagem por RMN reside no furo perfurado. Por exemplo, a ferramenta de perfilagem por RMN pode ser alterada entre o modo lateral e o modo amplo, para que os dados de RMN adquiridos nos dois modos possam ser comparados, por exemplo, para detectar a assimetria sobre o furo perfurado. Como outro exemplo, a ferramenta de perfilagem por RMN pode operar em múltiplas frequências diferentes no mesmo ponto de perfilagem ou um em um ponto de perfilagem diferente no furo perfurado. Em tais casos, os modos laterais de operação com spoiler e sem spoiler podem ser úteis para diferentes frequências de operação. Em alguns casos, o modo spoiler é útil para frequências mais altas e menor profundidade de investigação, enquanto o modo sem spoiler é útil para frequências mais baixas e maior profundidade de investigação. O modo de operação da ferramenta de perfuração por RMN pode ser alterado por estas e outras razões.

[0069] Em alguns casos, mudar o modo de operação da ferramenta de perfilagem de RMN inclui alterar a antena secundária da ferramenta de perfilagem de RMN do modo de reforço para o modo inativo ou do modo inativo para o modo de reforço. Em alguns casos, mudar o modo de operação da ferramenta de perfilagem de RMN inclui alterar a antena secundária da ferramenta de perfilagem de RMN do modo de reforço para o modo de spoiler ou do modo de spoiler para o modo de reforço. Em alguns casos, mudar o modo de operação da ferramenta de perfilagem de RMN inclui alterar a

antena secundária da ferramenta de perfilagem de RMN do modo inativo para o modo de spoiler ou do modo de spoiler para o modo inativo. Em alguns casos, mudar a ferramenta de perfilagem de RMN para um modo diferente de operação inclui manipular uma ou mais chaves de um sistema de comutação da ferramenta de perfilagem de RMN. Por exemplo, uma ou mais das chaves de exemplo mostradas na FIG. 5 podem ser alteradas para selecionar o modo de operação da ferramenta de perfilagem de RMN.

[0070] Em algumas implementações, a frequência de operação da ferramenta de perfilagem de RMN é alterada quando a antena secundária for alterada. Por exemplo, a frequência de operação pode ser aumentada para uma profundidade mais rasa de investigação ou diminuída para uma maior profundidade de investigação. Em alguns casos, quando se muda para uma maior profundidade de investigação, a antena secundária pode ser alterada para o modo de reforço; ou quando se muda mudar para uma menor profundidade de investigação, a antena secundária pode ser mudada para o modo inativo ou spoiler (sem spoiler).

[0071] Como mostrado na FIG. 2B, o processo de exemplo 250 pode retornar para 256 para reposicionar a ferramenta de perfilagem de RMN no furo de poço depois de mudar o modo de operação em 260. Por exemplo, a ferramenta de perfilagem de RMN pode ser reposicionado no mesmo ponto de perfilagem. Por exemplo, se a ferramenta de perfilagem de RMN for mudar do modo de observação ampla para modo de observação focada, a ferramenta de perfilagem de RMN pode ser reposicionada de um centro radial do furo de poço para um lado radial do furo de poço adjacente para uma parede de furo de poço; ou se a ferramenta de perfilagem de RMN for mudada do modo de observação focada para modo de observação ampla, a ferramenta de perfilagem de RMN poderá ser reposicionada em direção ao centro radial do furo de poço para longe da parede do furo. Como outro exemplo, a ferramenta de perfilagem de RMN pode ser reposicionada em outro ponto de

perfilagem. Por exemplo, a ferramenta de perfilagem de RMN pode ser movida para uma profundidade diferente no poço de exploração, o que pode corresponder a uma camada diferente de formação subterrânea.

[0072] Em alguns casos, a ferramenta de perfilagem de RMN não é reposicionada depois do modo de operação da ferramenta de perfilagem de RMN é alterada em 260. Por exemplo, a ferramenta de perfilagem de RMN pode ser alterada de um modo de spoiler no modo de observação focada da operação para um modo sem spoiler no modo de observação focada da operação. Como outro exemplo, a ferramenta de perfilagem de RMN pode ser alterada da operação no modo de observação focada para operar no modo de observação ampla na mesma localização radial no poço. Em tais casos, a ferramenta de perfilagem de RMN pode alterar o seu modo de operação várias vezes no mesmo ponto de perfilagem e na mesma posição radial no interior do furo de poço.

[0073] Como mostrado na FIG. 2B, depois do modo de operação da ferramenta de perfilagem de RMN é alterado (em 260) e, possivelmente, reposicionado (em 256), a ferramenta de perfilagem de RMN é operada (em 258) no novo modo de operação. Por exemplo, a ferramenta de perfilagem de RMN pode gerar um campo magnético de radiofrequência que tem propriedades distintas em cada iteração de operação da ferramenta de perfilagem de RMN 258. Em alguns casos, a ferramenta de perfilagem de RMN é operado em uma frequência diferente em cada iteração ou com a antena secundária em um modo de operação diferente.

[0074] Em alguns casos, as operações 256, 258 e 260 são repetidas para uma sequência de perfilagem em múltiplas posições de perfilagem diferentes ou em uma posição de perfilagem única dentro do furo de poço. Em cada iteração, uma sequência de pulsos de RF pode ser aplicada a uma região diferente de interesse ou à mesma região de interesse e um sinal de RMN pode ser adquirido a partir da região de interesse. Os sinais de perfilagem de

RMN adquiridos mediante operação da ferramenta de perfilagem de RMN podem ser armazenados localmente na ferramenta de perfilagem de RMN, transmitidos para um local remoto, pré-processados ou tratados de forma diferente.

[0075] Em 262, a ferramenta de perfilagem de RMN é removido do furo de poço. Por exemplo, a ferramenta de perfilagem de RMN pode ser removida por meio de equipamento de perfilagem de wireline, removendo uma coluna de perfuração do furo de poço ou em outra maneira.

[0076] Os dados de perfilagem de RMN adquiridos pela ferramenta de perfilagem de RMN durante o processo de exemplo 250 podem ser utilizados para analisar a região subterrânea. Por exemplo, os dados de registro de RMN podem ser utilizados para determinar porosidade, tipo de fluido, permeabilidade, viscosidade ou outras propriedades da formação subterrânea ou fluidos residentes na formação subterrânea. Em alguns casos, os dados de perfilagem de RMN são utilizados como uma entrada para um algoritmo de condução que controla a direção e a operação de uma coluna de perfuração. Por exemplo, os dados de perfilagem de RMN podem ser usados para detectar limites de uma camada subterrânea ou outras informações que podem ser utilizadas como uma entrada para condução de um sistema de perfuração.

[0077] A FIG. 3 é um diagrama de um exemplo de ferramenta de perfilagem de RMN 302 em uma região subterrânea 300. A ferramenta de perfilagem de RMN de exemplo 302 é mostrada na FIG. 3 em uma vista de corta transversal para propostas de ilustração. A FIG. 3 mostra dois tamanhos de furo de poço de alternativos na região subterrânea 300. Em particular, um furo de poço menor 314 e um furo de poço maior 315 são ambos mostrados na mesma vista para comparação.

[0078] A FIG. 3 também mostra os exemplos de volumes sensíveis para diferentes frequências de operação da ferramenta de perfilagem de RMN 302. No exemplo mostrado, o furo de poço menor 314 é um furo de diâmetro

de 8,5 polegadas e o furo de poço maior 315 é um furo de diâmetro de 12,5 polegadas. As seções transversais dos volumes sensíveis cilíndricos 316, 317, 318, 319 e 320 referem-se a cinco frequências de funcionamento diferentes, com o volume sensível 316 correspondendo à maior frequência de operação.

[0079] A FIG. 3 mostra múltiplos campos dipolos magnéticos de exemplo que podem ser gerados pelo sistema magnético principal e o sistema de antena da ferramenta de perfuração de RMN 302. O campo dipolo magnético estático 310 pode ser gerado por um sistema magnético principal. Os campos dipolos magnéticos radiofrequência (RF) 311, 312 e 313 podem ser gerados por um sistema de antena da ferramenta de perfuração de RMN. O sistema de antena pode incluir uma primeira antena, uma segunda antena, um sistema de comutação que comuta as antenas entre diferentes modos de operação e outros recursos. A quantidade de campos dipolos magnéticos de RF e o alinhamento espacial entre os mesmos pode depender da configuração do sistema de comutação.

[0080] O primeiro campo dipolo magnético de RF 311 pode ser gerado por uma antena principal. Em alguns casos, a antena secundária está em um modo inativo e não gerará um campo magnético (por exemplo, mesmo quando a antena principal gerar o campo dipolo magnético de RF 311). Em alguns casos, a antena secundária opera em um modo de reforço e gera o campo dipolo magnético de RF 313. Como mostrado na FIG. 3, o campo dipolo magnético de RF 313 gerado pela antena secundária no modo de reforço é alinhado com, e paralelo a, o campo dipolo magnético de RF 311 gerado pela antena principal (isto é, os dois dipolos apontam no mesmo sentido). Em alguns casos, a antena secundária está em um modo de spoiler e gera o campo dipolo magnético de RF 312. Como mostrado na FIG. 3, o campo dipolo magnético de RF 312 gerado pela antena secundária no modo de spoiler é alinhado com, e antiparalelo a, o campo dipolo magnético de RF 311 gerado pela antena principal (isto é, os dois dipolos apontam em sentidos

opostos). Ambas as antenas podem funcionar num modo de transmissão (para gerar um campo magnético de RF) e um modo de recepção (para receber sinais de RMN).

[0081] A FIG. 3 ilustra uma situação de exemplo onde nenhum dos volumes de excitação tem uma parte que se encontra no furo menor 314. No exemplo mostrado na FIG. 3, os volumes sensíveis 316 e 317 não penetram o furo menor 314 e a profundidade mínima de investigação (ponto mais à esquerda dos volumes) é muito pequena para selecionar os sinais de RMN a partir dos volumes sensíveis 316 e 317. Por exemplo, a parte dos volumes sensíveis 316 e 317 no lado traseiro (à esquerda no desenho) da ferramenta de perfilagem de RMN 302 são propensos a desmoronamento e outras irregularidades do furo. Assim, a ferramenta de perfilagem de RMN 302 pode operar em um modo de observação focada, em vez de reforçar o sinal de RMN da parte dos volumes sensíveis 316 e 317 no lado traseiro da ferramenta de perfilagem de RMN 302.

[0082] No exemplo mostrado na FIG. 3, os outros volumes sensíveis 318, 319 e 320 (que correspondem a frequências mais baixas) são mais profundos e o modo de observação ampla pode ser utilizado no furo menor 314 para adquirir os dados de RMN da região subterrânea em todas as direções radiais para esses volumes sensíveis. Como mostrado na FIG. 3, os volumes mais rasos de investigação têm ângulos de arco eficazes de excitação que são menores que  $180^\circ$  (mostrado como linhas sólidas com negrito com a continuação de linha tracejada representando o volume de excitação potencial). No caso do furo maior 315, todos os volumes podem ter um sinal indesejável proveniente do furo e o spoiler pode ser utilizado para alguns ou todos os volumes sensíveis no furo maior 315. Por exemplo, desativar a segunda antena pode não ser suficiente para despojar os sinais não desejados em alguns casos.

[0083] Em alguns casos, a frequência de operação da ferramenta de

perfilagem de RMN é mudada periodicamente ao executar a ferramenta de perfilagem de RMN em um poço. Isso pode proporcionar vantagens em alguns casos. Por exemplo, em uma experiência de RMN repetitiva em uma frequência em particular pode exigir um tempo de espera entre os experimentos para a magnetização nuclear se recuperar, e em tais casos, o próximo experimento no mesmo volume sensível (mesma frequência) pode não ser iniciado tão rapidamente. O tempo de espera pode ser reduzido ou eliminado por comutação para uma outra frequência e, portanto, um outro volume sensível (tal como, por exemplo, um dos vários volumes sensíveis mostrados nas FIGS. 3 e 4B), enquanto se espera pela recuperação na primeira região. Isto também pode aumentar a proporção sinal-ruído por unidade de tempo em alguns casos. Como outro exemplo, a alteração da frequência normalmente muda o raio da região sensível e, portanto, altera a profundidade de investigação, que pode fornecer informações adicionais sobre as propriedades de formação.

[0084] A FIG. 4A é um diagrama de um exemplo de ferramenta de perfilagem de RMN 421 em uma região subterrânea 400. A FIG. 4A mostra uma vista em corte transversal da ferramenta de perfilagem de RMN 421 em um furo de exemplo 414. Em alguns casos, o comprimento longitudinal da ferramenta de perfilagem de RMN (na direção perpendicular ao plano do desenho) é muito maior do que as dimensões de corte transversal e a ferramenta de perfilagem de RMN pode ser modelada como uma configuração bidimensional.

[0085] A ferramenta de perfilagem de RMN 421 mostrada na FIG. 4A é um exemplo de um projeto de sensor que pode ser operado em ambos os modos de observação focada e de observação ampla. Em alguns casos, as ferramentas de perfilagem de RMN de exemplo 102 e 202 (das FIGS. 1A e 2A, respectivamente) podem ter a configuração mostrada na FIG. 4A ou as ferramentas de perfilagem de RMN 102 e 202 podem ter uma outra

configuração. Um exemplo de um projeto de sensor de observação focada é apresentado na Patente de nº U.S. 6.452.388.

[0086] No exemplo mostrado na FIG. 4A, a ferramenta de perfilagem de RMN 421 inclui um sistema magnético principal 422 que gera o campo magnético estático principal. A ferramenta de perfilagem de RMN de exemplo 421 tem um sistema de antena que inclui um primeiro conjunto de antena 424 e um segundo conjunto de antena 425. O primeiro conjunto de antena 424 inclui uma primeira antena 426 e um primeiro núcleo magnético macio 427 feito de um material não condutor. O segundo conjunto de antena 425 inclui uma segunda antena 428 e um segundo núcleo magnético macio 429. No sistema exemplificativo da antena mostrada na FIG. 4A, os núcleos magnéticos moles podem ser usados para aumentar a eficiência das bobinas de antena.

[0087] Na FIG. 4A, a direção de magnetização do sistema magnético principal é mostrada em 423, e a direção do campo magnético estático principal em uma localização de exemplo na região de interesse é mostrada em 430. A direção do campo magnético de radiofrequência (RF) é mostrada em 431. Tal como mostrado em 430 e 431, na região de interesse, o campo magnético principal é perpendicular ao campo magnético de RF. Em particular, o campo magnético principal na região frontal da ferramenta de perfilagem de RMN 421 (observando no interior da formação) tem uma orientação circunferencial; e o campo magnético de RF na região frontal da ferramenta de perfilagem de RMN 421 tem uma orientação perpendicular radial.

[0088] No exemplo mostrado, o campo magnético estático na traseira da ferramenta de perfilagem de RMN 421 tem o mesmo sentido que o campo magnético estático na parte frontal (ilustrada em 430). A segunda antena 428 pode ser conectada à primeira antena 426 num modo de reforço ou um modo de spoiler ou a segunda antena 428 pode ser desligada da primeira antena 426

em um modo inativo. Se a segunda antena 428 está conectada em um modo de reforço, o campo magnético de RF na traseira da ferramenta pode ter a mesma direção e substancialmente a mesma grandeza que o campo magnético de RF no lado frontal da ferramenta (ilustrado em 431). Em um outro modo, o campo magnético de RF na traseira da ferramenta pode ter quase zero de magnitude, quer na mesma ou na direção oposta do campo magnético de RF.

[0089] A FIG. 4B é um diagrama que mostra aspectos de campos magnéticos gerados por uma simulação do exemplo de ferramenta de perfilagem de RMN 421 na FIG. 4A. Na FIG. 4B, o campo magnético é mostrado pelas isolinhas 433, 434, 435 e 436 calculado pela modelagem numérica. As isolinhas de exemplo 433, 434, 435 e 436 mostradas na FIG. 4B correspondem às frequências de operação de 1,3 MHz, 1,05 MHz, 0,73 MHz e 0,55 MHz, respectivamente. Tal como mostrado na simulação de exemplo ilustrado na FIG. 4B, as isolinhas não penetram na parede do furo menor 414 (diâmetro de 8,5 polegadas).

A Tabela 1 apresenta os resultados da modelagem numérica de exemplo para o sinal furo recebido pela antena de radiofrequência da ferramenta de perfilagem de RMN 421 num poço de 12,5 pol. para dois casos de exemplo. A primeira fileira da tabela (rotulada "sem spoiler") mostra os resultados de exemplo para a segunda antena num modo inativo, não conectada à primeira antena. A segunda linha da tabela (identificada como "com spoiler") mostra os resultados de exemplo para a segunda antena em um modo ativo, conectada como um spoiler. As entradas em cada coluna mostram a quantidade de sinal de RMN (em unidades de porosidade, p.u.) recebida a partir de fluido no furo, que é tipicamente considerado o sinal indesejável. No exemplo mostrado, as unidades de porosidade indicam a percentagem do sinal de RMN total em comparação ao sinal de RMN total que seria produzido pela formação de terra caso tivesse 100% de porosidade (isto é, água pura). Em alguns casos, um nível aceitável é qualquer valor inferior a 1 p.u. Os

resultados são apresentados para frequências de funcionamento de 1,3 MHz, 1,05 MHz, 0,73 MHz e 0,55 MHz nas respectivas colunas.

	f1 = 1,3 MHz	f2 = 1,05 MHz	f3 = 0,73 MHz	f3 = 0,55 MHz
Sem Spoiler	4,2	6,5	7,8	6,6
Com spoiler	0,8	0,5	0,3	0,4

[0090] Nesse exemplo, no modo "sem spoiler" o sinal de furo indesejado pode ser considerado um nível inaceitavelmente elevado, enquanto que no modo de spoiler o sinal é suficientemente pequeno para ser aceitável. Os resultados apresentados na Tabela 1 mostram uma instância de exemplo, onde a segunda antena fornece uma vantagem no modo spoiler, por exemplo, em comparação ao modo de reforço e o modo inativo.

[0091] A FIG. 5 é um diagrama que mostra exemplos de circuitos eletrônicos para uma ferramenta de perfilagem de RMN 500. O exemplo a ferramenta de perfilagem de RMN 500 inclui um sistema de antena 502, um controlador de transmissor 510, um desacoplador transmissor/receptor 520 e um receptor 530. O exemplo de sistema de antena 502 inclui um sistema de comutação 504, antenas de radiofrequência (RF) 540 e outras características. O exemplo de sistema de comutação 504 pode alternar as antenas de RF 540 entre vários modos diferentes de operação. O transmissor 510 pode operar como no transmissor de exemplo 206 mostrado na FIG. 2 e o receptor 530 pode funcionar como o receptor de exemplo 210 mostrado na FIG. 2. O desacoplador transmissor/receptor 520 pode isolar os componentes eletrônicos internos do receptor 530 dos outros eletrônicos da ferramenta de perfilagem de RMN 500, por exemplo, para proteger o receptor eletrônico quando a ferramenta de perfilagem de RMN 500 não estiver ativamente adquirindo dados de RMN.

[0092] Na FIG. 5, os circuitos elétricos de exemplo inclui uma primeira e segunda antenas (mostradas como indutores  $L_1$ ,  $L_2$ ), indutores fictícios (como  $L_{D1}$ ,  $L_{D2}$ ), capacitores de sintonização (mostrado como  $C_1 - C_N$ ) e vários comutadores (mostrados como 511, 512, 513 e 515). Os comutadores

511, 512, 513, 514, e 515 podem ser implementados, por exemplo, como relés ou outros tipos de dispositivos de comutação. Em alguns exemplos, as antenas  $L_1$ ,  $L_2$  estão localizadas em uma seção do sensor da ferramenta de perfilagem de RMN, enquanto os indutores fictícios  $L_{D1}$ ,  $L_{D2}$  estão localizados na seção de eletrônicos. Um ou mais comutadores 515 para os capacitores de sintonização  $C_1 - C_N$  podem ser usados para sintonizar o circuito a diferentes frequências de ressonância para a operação de multi-frequência da ferramenta de perfilagem de RMN 500. Os indutores fictícios podem ser utilizados, por exemplo, para garantir que a indutância total do sistema de antena 502 (como pode ser visto pelo condutor, transmissor 510 e receptor 530) mantenha-se inalterada quando se muda entre os diferentes modos de operação do sistema de antena. Em alguns casos, isso permite que usando o mesmo conjunto dos capacitores de sintonia em cada modo.

[0093] No exemplo mostrado na FIG. 5, os comutadores 511, 512, 513 e 514 formam um sistema de comutação 504 que controla o modo de operação da segunda antena  $L_2$ . Cada comutador indivíduo tem dois ou mais estados possíveis. O comutador 511 tem dois estados: o mesmo pode ser conectado a um primeiro terminal 521 ou conectado a um segundo terminal 522. Alterando o comutador 511 entre os dois terminais 521, 522 muda-se a fase da corrente através da segunda antena  $L_2$  com relação à primeira antena  $L_1$ . Quando o comutador 511 estiver conectado ao primeiro terminal 521, a primeira e a segunda antenas estarão em fase e poderão gerar campos dipolos que têm a mesma orientação; quando o comutador 511 estiver conectado ao segundo terminal 522, a primeira e a segunda antenas estão 180 graus fora de fase e podem gerar campos dipolos tendo orientações opostas. Os outros comutadores 511, 512 e 513 têm, cada um, dois estados: desconectado ("desligado") e conectado ("ligado").

O sistema de comutação 504 pode ter múltiplas configurações distintas para os modos de operação distintos do sistema de antena 502. A configuração de

exemplo dos comutadores 511, 512, 513, e 514 são mostrados na Tabela 2. Cada fileira corresponde a um modo de operação diferente da segunda antena  $L_2$  do sistema de antena 502 e cada coluna corresponde a um comutador diferente.

	511	512	513	514
Modo inativo	522	ligado	ligado	desligado
Modo de spoiler	522	ligado	desligado	ligado
Modo de reforço	521	desligado	ligado	desligado

Tabela 2

[0094] A primeira linha mostra a configuração do sistema de comutação para o modo inativo da segunda antena  $L_2$ , o que corresponde a operar a ferramenta de perfilagem de RMN 500 em um modo de modo de observação focada sem um spoiler. A segunda linha mostra a configuração do sistema de comutação para o modo de spoiler ativo da segunda antena  $L_2$ , o que corresponde a operar a ferramenta de perfilagem de RMN 500 em um modo de modo de observação focada com um spoiler. A terceira linha mostra a configuração do sistema de comutação para o modo de reforço ativo da segunda antena  $L_2$ , o que corresponde a operar a ferramenta de perfilagem de RMN 500 em um modo de observação ampla com um reforço.

[0095] No exemplo mostrado, a primeira e a segunda antena têm indutância igual  $L$  e acoplamento mútuo negligenciável. Em tais casos, a indutância total do sistema de antena 502 permanece invariável em relação a comutação entre os diferentes modos de funcionamento, por exemplo, se os indutores fictícios forem selecionados para satisfazer as equações  $L_{D1} = L$  e  $L_{D2} = 2L$ .

A Tabela 3 mostra os resultados da modelagem numérica de exemplo para a proporção total de sinal-para-ruído (SNR) para a ferramenta de perfilagem de RMN de exemplo 421 mostrada na FIG. 4A. Os seguintes parâmetros foram utilizados para a modelação: o furo modelado tinha um diâmetro de 8,5 polegadas, as antenas de RF modeladas tinham um comprimento de 12 polegadas, largura de pulso de RF de refoco foi de 45  $\mu$ s e 10 frequências de

operação na faixa de 0,55-1,3 MHz foram utilizadas. O sistema foi modelado com dois tipos de lama de perfuração: lama com base em água (WBM) com resistividade 0,05 Ohm-m e uma lama com base em óleo (OBM) com resistividade infinita. No exemplo mostrado, cinco frequências de funcionamento mais elevadas foram modeladas em um modo "sem spoiler" para evitar leituras muito rasas. Cinco outras frequências (mais baixas) foram modeladas com a segunda antena em um modo de "reforço" (correspondente à ferramenta operando no modo de observação ampla).

		SNR	$(P_{\text{pulso}})_{\text{máx.}}, W$	$P_{\text{dc}}, W$
OBM	Spoiler permanente	60,8	5788	502
	Spoiler/reforço comutável	91,3	7168	651
WBM	Spoiler permanente	44,9	9348	899
	Spoiler/reforço comutável	49,8	9960	1034

Tabela 3.

[0096] Os resultados na Tabela 3 mostram um exemplo de benefícios de sinal-para-ruído para um sistema de antena comutável em comparação, por exemplo, a uma antena conectada permanentemente operada somente num modo de spoiler. Também estão mostradas na Tabela 3 a potência máxima de pico (na frequência mais baixa) e o consumo de energia de CC para cada modo de operação do sistema de antena.

[0097] Alguns assuntos e operações descritas neste relatório descritivo podem ser implementados nos circuitos eletrônicos digitais ou em softwares, firmwares ou hardwares de computador, incluindo as estruturas divulgadas neste relatório descritivo e seus equivalentes estruturais, ou em combinações de um ou mais deles. Alguns assuntos descritos no presente relatório descritivo podem ser implementados como um ou mais programas codificados com um controlador digital eletrônico, um microprocessador ou outro tipo de aparelho de processamento de dados.

[0098] O termo "aparelho de processamento de dados" abrange todos os tipos de aparelhos, dispositivos e máquinas para processar dados,

incluindo, a título de exemplo, um processador, um controlador, um computador, um sistema em um chip, ou múltiplos ou combinações dos anteriores. O aparelho pode incluir circuitos de lógica de finalidade especial, por exemplo, um arranjo de portas programável em campo (FPGA) (matriz de portas lógicas programáveis - field programmable gate array) ou um circuito integrado específico de aplicação (ASIC) (circuito integrado de aplicação específica - application specific integrated circuit). O aparelho também pode incluir, além do hardware, um código que cria um ambiente de execução para o programa de computador em questão, por exemplo, o código que constitui o firmware do processador, uma pilha de protocolo, um sistema de gerenciamento de base de dados, um sistema operacional, um ambiente de tempo de execução multiplataforma, uma máquina virtual ou uma combinação de um ou mais deles.

[0099] Um programa pode ser escrito ou codificado em qualquer forma de linguagem de programação. Alguns dos processos e fluxos de lógica descritos nesse relatório descritivo podem ser realizados por um ou mais processadores programáveis executando um ou mais programas para realizar ações por meio da operação em dados de entrada e geração de saída. Os processos e fluxos lógicos também podem ser realizados por, e os aparelhos também podem ser implementados como, circuito lógico de finalidade especial, por exemplo, um FPGA (matriz de portas lógicas programáveis - field programmable gate array) ou um ASIC (circuito integrado de aplicação específica - application specific integrated circuit). Os processadores adequados para a execução de um programa incluem, a título de exemplo, ambos microprocessadores gerais e especiais, controladores eletrônicos digitais, etc.

[00100] Enquanto este relatório descritivo contém muitos detalhes, estes não devem ser interpretados como limitações no escopo do que pode ser reivindicado, mas sim como descrições de características específicas para

exemplos particulares. Certas características que são descritas neste relatório descritivo no contexto de implementações separadas também podem ser combinadas. Por outro lado, diversos recursos que são descritos no contexto de uma única implementação também podem ser implementados em múltiplas modalidades separadamente ou em qualquer subcombinação adequada.

[00101] Uma série de exemplos foi descrita. No entanto, será entendido que diversas modificações podem ser feitas. Portanto, outras implementações estão dentro do escopo das seguintes reivindicações.

## REIVINDICAÇÕES

1. Método de perfilagem de ressonância magnética nuclear (NMR) para a obtenção de dados de NMR de uma região subterrânea, caracterizado pelo fato de que o método compreende:

gerar o primeiro campo magnético de radiofrequência (RF) através da operação de um sistema de antena (208) de uma ferramenta de perfilagem de NMR (202) disposta em um furo de poço em uma região subterrânea (120), em que o sistema de antena compreende uma primeira antena (220) e uma segunda antena (222), sendo a segunda antena comutável entre uma pluralidade de modos de operação que compreende pelo menos dois dentre um modo de reforço, um modo de spoiler e um modo inativo, sendo que o primeiro campo magnético de RF é gerado pela operação do sistema de antena que tem a segunda antena em um primeiro dentre pluralidade de modos de operação;

mudar a segunda antena (222) da ferramenta de perfilagem de NMR (202) do primeiro modo de operação para um segundo, diferente daquele dentre a pluralidade de modos de operação, enquanto a ferramenta de perfilagem de NMR está disposta no furo de poço; e

gerar um segundo campo magnético de RF diferente através da operação do sistema de antena (208) que tem a segunda antena (222) no segundo modo de operação.

2. Método de perfilagem de NMR de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que mudar a segunda antena (222) da ferramenta de perfilagem de NMR (202) do primeiro modo de operação para o segundo modo de operação compreende:

alterar a segunda antena a partir do modo de reforço para o modo inativo enquanto a ferramenta de perfilagem de NMR estiver disposta no furo de poço; ou

mudar a segunda antena a partir do modo inativo para o modo de reforço enquanto a ferramenta de perfilagem de NMR estiver disposta no furo de poço.

3. Método de perfilagem de NMR de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que mudar a segunda antena (222) da ferramenta de perfilagem de NMR (202) do primeiro modo de operação para o segundo modo de operação compreende:

alterar a segunda antena a partir do modo de reforço para o modo de spoiler enquanto a ferramenta de perfilagem de NMR estiver disposta no furo de poço; ou

mudar a segunda antena a partir do modo de spoiler para o modo de reforço enquanto a ferramenta de perfilagem de NMR estiver disposta no furo de poço.

4. Método de perfilagem de NMR de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que mudar a segunda antena (222) da ferramenta de perfilagem de NMR (202) do primeiro modo de operação para o segundo modo de operação compreende:

alterar a segunda antena a partir do modo inativo para o modo de spoiler enquanto a ferramenta de perfilagem de NMR estiver disposta no furo de poço; ou

mudar a segunda antena a partir do modo de spoiler para o modo inativo enquanto a ferramenta de perfilagem de NMR estiver disposta no furo de poço.

5. Método de perfilagem de NMR de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a primeira antena (220) é configurada para produzir um primeiro campo dipolo magnético de RF que tem uma primeira orientação e a segunda antena no modo de reforço é configurada para produzir um segundo campo dipolo magnético de RF que tem uma segunda orientação oposta à primeira orientação.

6. Método de perfilagem de NMR de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a primeira antena (220) é configurada para produzir um primeiro campo dipolo magnético de RF que tem uma primeira orientação e a segunda antena (222) no modo de reforço é configurada para produzir um segundo campo dipolo magnético de RF que tem a mesma, primeira orientação.

7. Método de perfilagem de NMR de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a primeira antena (220) é configurada para produzir um primeiro campo dipolo magnético de RF e a segunda antena (222) no modo inativo é configurada para não produzir substancialmente nenhum campo magnético de RF durante a operação do sistema de antena (208).

8. Método de perfilagem de NMR de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que mudar a segunda antena (222) compreende manipular um ou mais comutadores de um sistema de comutação (218) da ferramenta de perfilagem de NMR.

9. Método de perfilagem de NMR de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que mudar a segunda antena (222) da ferramenta de perfilagem de NMR (202) do primeiro modo de operação para o segundo modo de operação compreende:

alterar a ferramenta de perfilagem de NMR de um modo de observação focada para um modo de observação ampla, enquanto a ferramenta de perfilagem de NMR estiver disposta no furo de poço; ou

alterar a ferramenta de perfilagem de NMR de um modo de observação ampla para um modo de observação focada enquanto a ferramenta de perfilagem de NMR estiver disposta no furo de poço.

10. Método de perfilagem de NMR de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que compreende adicionalmente a aquisição de um sinal de NMR a partir da região subterrânea (120).

11. Método de perfilagem de NMR de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o primeiro campo magnético de RF é gerado enquanto a ferramenta de perfilagem de NMR (202) estiver disposta em um primeiro ponto de perfilagem no furo de poço e o segundo campo magnético de RF é gerado enquanto a ferramenta de medição NMR estiver disposta em um segundo ponto de perfilagem diferente no furo de poço.

12. Método de perfilagem de NMR de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o primeiro campo magnético de RF e o segundo campo magnético de RF são gerados enquanto a ferramenta de perfilagem de NMR estiver disposta em um ponto de perfilagem comum no furo de poço.

13. Método de perfilagem de NMR de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o primeiro campo magnético de RF compreende uma primeira frequência associada a uma primeira profundidade de investigação, o segundo campo magnético de RF compreende uma segunda frequência associada a uma segunda profundidade diferente de investigação e mudar a segunda antena compreende configurar a ferramenta de perfilagem de NMR para a segunda profundidade de investigação.

14. Método de perfilagem de ressonância magnética nuclear (NMR) para obter os dados de NMR a partir de uma região subterrânea (120), caracterizado pelo fato de que o método compreende:

operar uma ferramenta de perfilagem de NMR (202) em um modo de observação focada enquanto a ferramenta de perfilagem de NMR estiver disposta em um furo de poço em uma região subterrânea (120), a ferramenta de perfilagem de NMR no modo de observação focada adaptada para detectar uma proporção mais elevada do sinal de NMR de uma primeira direção radial de um segundo sentido radial oposto;

operar a ferramenta de perfilagem de NMR em um modo de observação ampla de operação enquanto a ferramenta de perfilagem de NMR estiver disposta no furo de poço na região subterrânea, a ferramenta de perfilagem de NMR no modo de observação ampla adaptada para detectar proporções iguais de sinal de NMR do primeiro e segundo sentidos radiais; e

alterar a ferramenta de perfilagem de NMR entre o modo de observação focada e o modo de observação ampla enquanto a ferramenta de perfilagem de NMR estiver disposta no furo de poço na região subterrânea.

15. Método de perfilagem de NMR de acordo com a reivindicação 14, caracterizado pelo fato de que compreende:

adquirir os dados de NMR de observação focada através da operação da ferramenta de perfilagem de NMR no modo de observação focada;

adquirir os dados de NMR de observação ampla através da operação da ferramenta de perfilagem de NMR no modo de observação ampla; e

comparar os dados de NMR de observação focada com os dados de NMR de observação ampla.

16. Método de perfilagem de NMR de acordo com a reivindicação 14, caracterizado pelo fato de que:

a ferramenta de perfilagem de NMR compreende um sistema de antena (208) compreendendo uma primeira antena (220) e uma segunda antena (222), em que a segunda antena é comutável entre uma pluralidade de modos de operação que compreendem pelo menos dois dentre um modo de reforço, um modo de spoiler e um modo inativo

operar a ferramenta de perfilagem de NMR em um modo de observação focada compreende operar o sistema de antena com a segunda antena no modo de spoiler ou o modo inativo; e

operar a ferramenta de perfilagem de NMR em um modo de observação focada compreende operar o sistema de antena com a segunda antena no modo de reforço.

17. Método de perfilagem de NMR de acordo com a reivindicação 14, caracterizado pelo fato de que:

operar a ferramenta de perfilagem de NMR (202) no modo de modo de observação focada compreende operar a ferramenta de perfilagem de NMR enquanto um limite externo da ferramenta de perfilagem de NMR entra em contato com uma parede interna do furo de poço;

operar a ferramenta de perfilagem de NMR em um modo de observação focada compreende operar a ferramenta de perfilagem de NMR enquanto a NMR é substancial e radialmente centrada no furo de poço; e

mudar a ferramenta de perfilagem de NMR entre o modo de observação focada e o modo de observação ampla compreende deslocar a posição da ferramenta de perfilagem de NMR radialmente dentro do furo de poço.

18. Ferramenta de perfilagem (202) de ressonância magnética nuclear (NMR) para uso no fundo de poço em um furo de poço em uma região subterrânea (120), caracterizada pelo fato de que a ferramenta de perfilagem de NMR compreende:

um conjunto magnético (204) operável para produzir um campo magnético estático;

um sistema de antena (208) que compreende:

uma primeira antena (220); e

uma segunda antena (222); e

um sistema de comutação (218) que é comutável entre, pelo menos, três configurações que compreendem:

uma configuração de spoiler na qual a primeira antena (220) e a segunda antena (222) estão ativas e configuradas para produzir campos de

dipolos magnéticos de radiofrequência (RF) respectivos tendo orientações opostas;

uma configuração de reforço na qual a primeira antena (220) e a segunda antena (222) estão ativas e configuradas para produzir os campos dipolos magnéticos de RF respectivos tendo uma orientação comum; e

uma terceira configuração na qual a primeira antena (220) está ativa e a segunda antena (222) está inativo.

19. Conjunto de coluna de perfuração, caracterizado pelo fato de que compreende a ferramenta de perfilagem de NMR (202) como definida na reivindicação 18.

20. Conjunto de perfilagem de wireline, caracterizado pelo fato de que compreende a ferramenta de perfilagem de NMR (202) como definida na reivindicação 18.

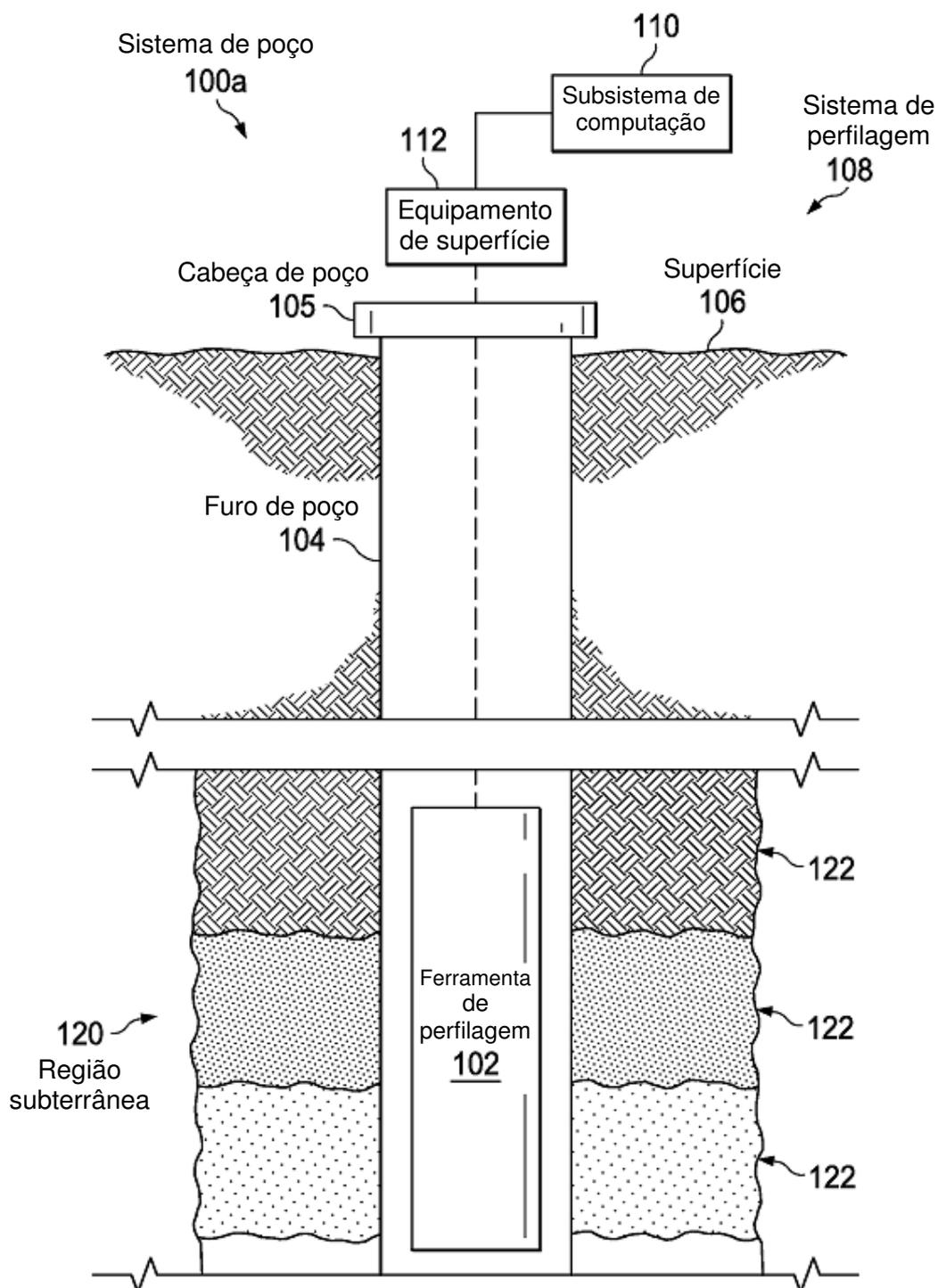


FIG. 1A

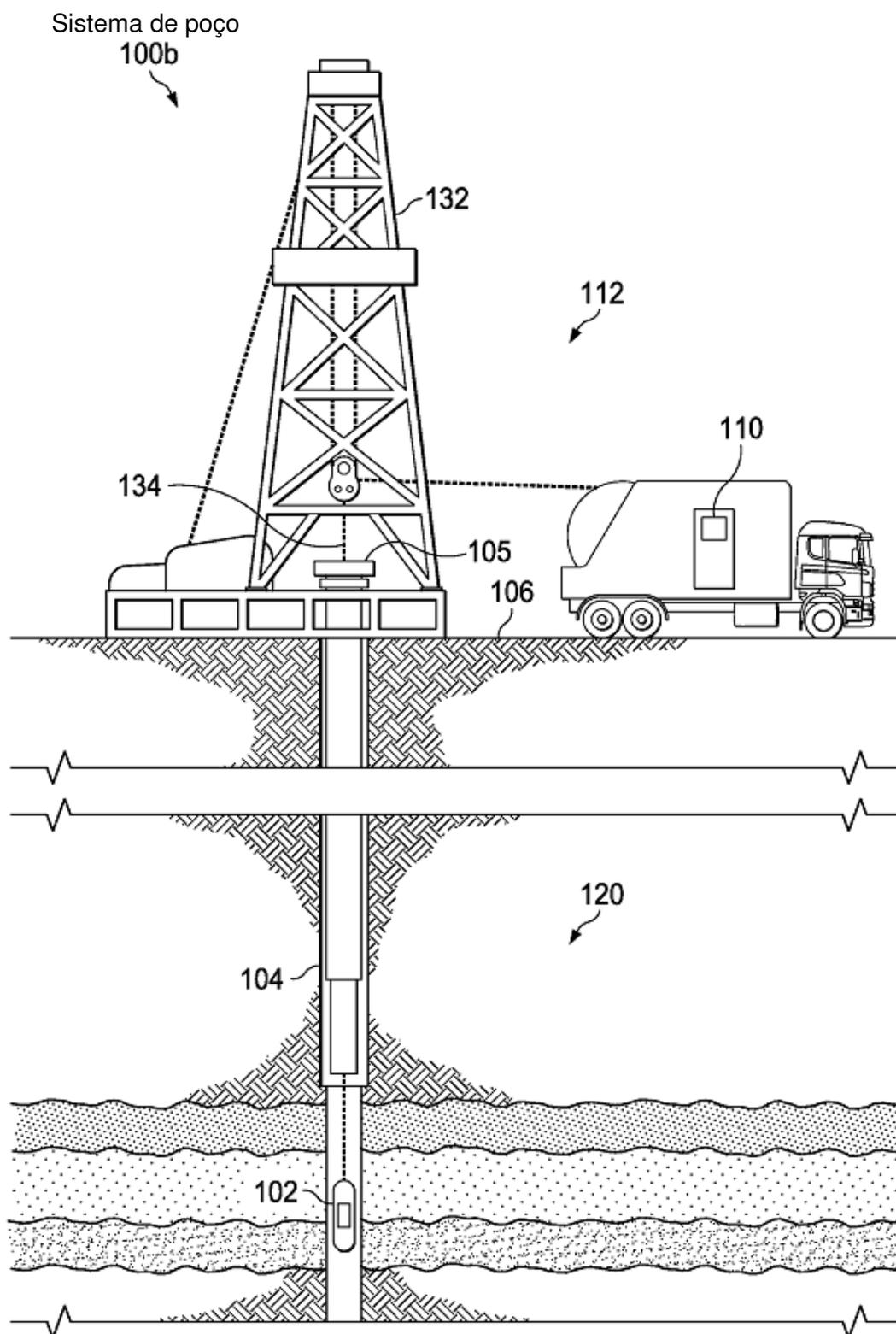


FIG. 1B

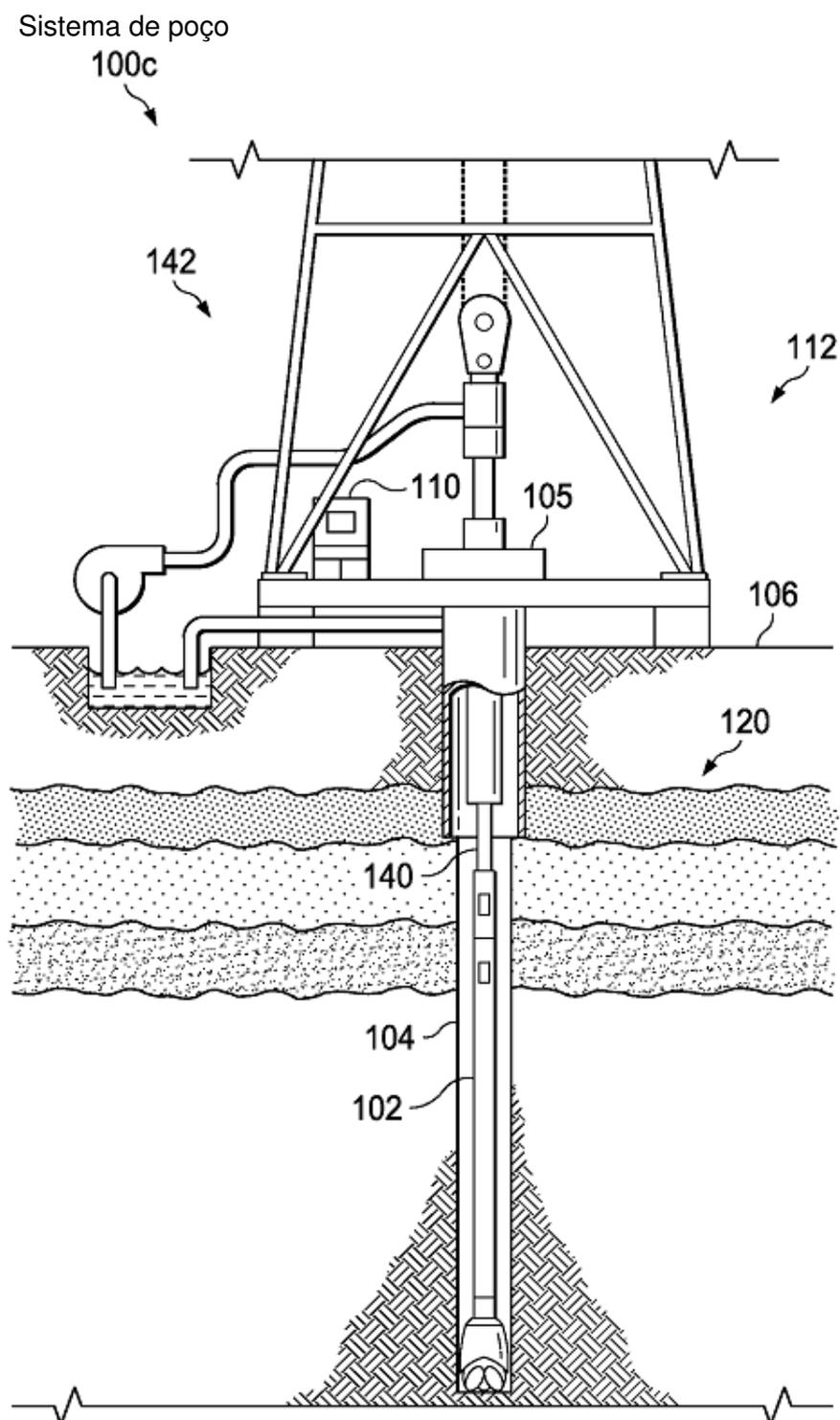


FIG. 1C

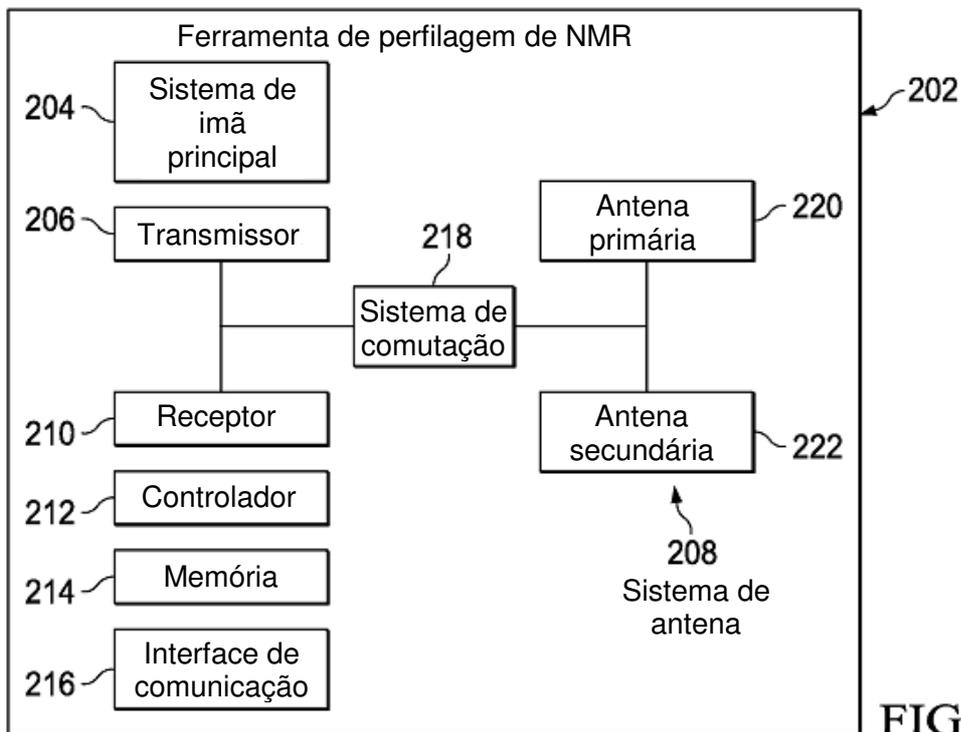


FIG. 2A

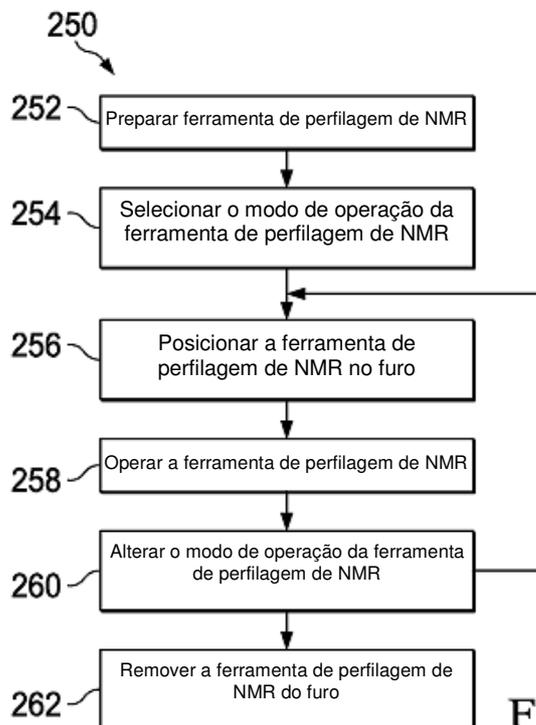


FIG. 2B

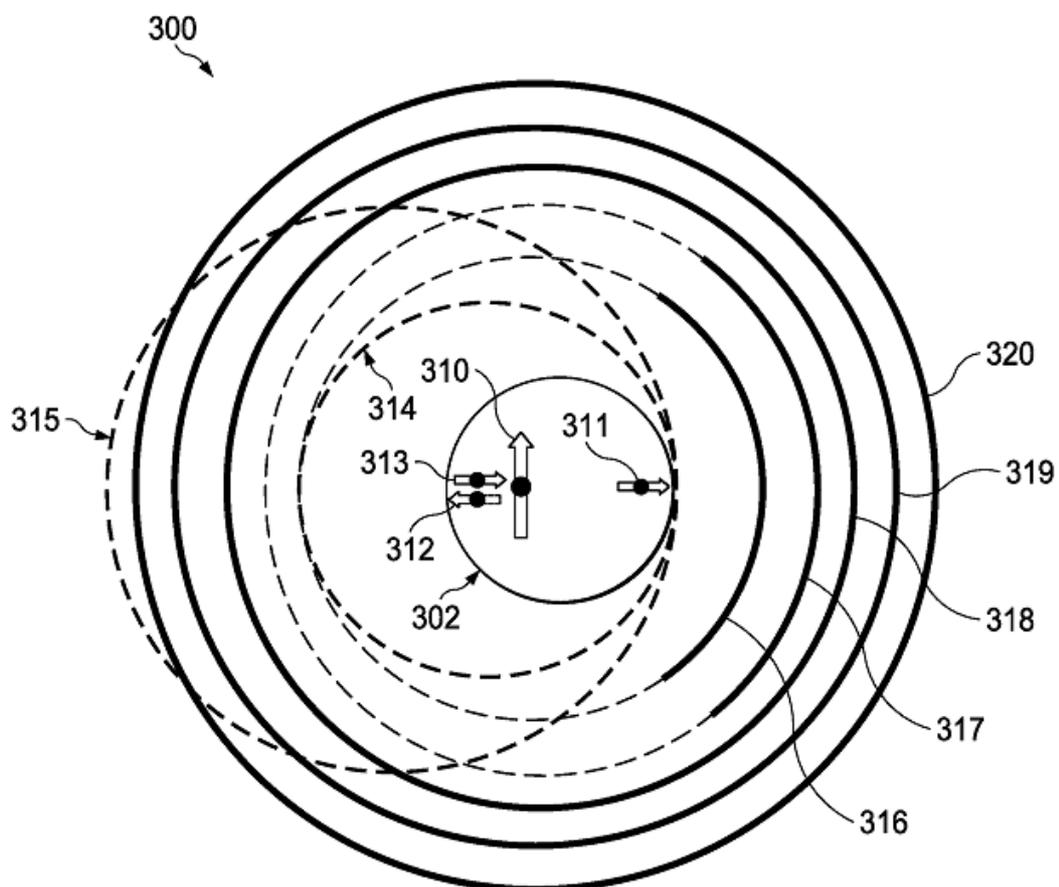
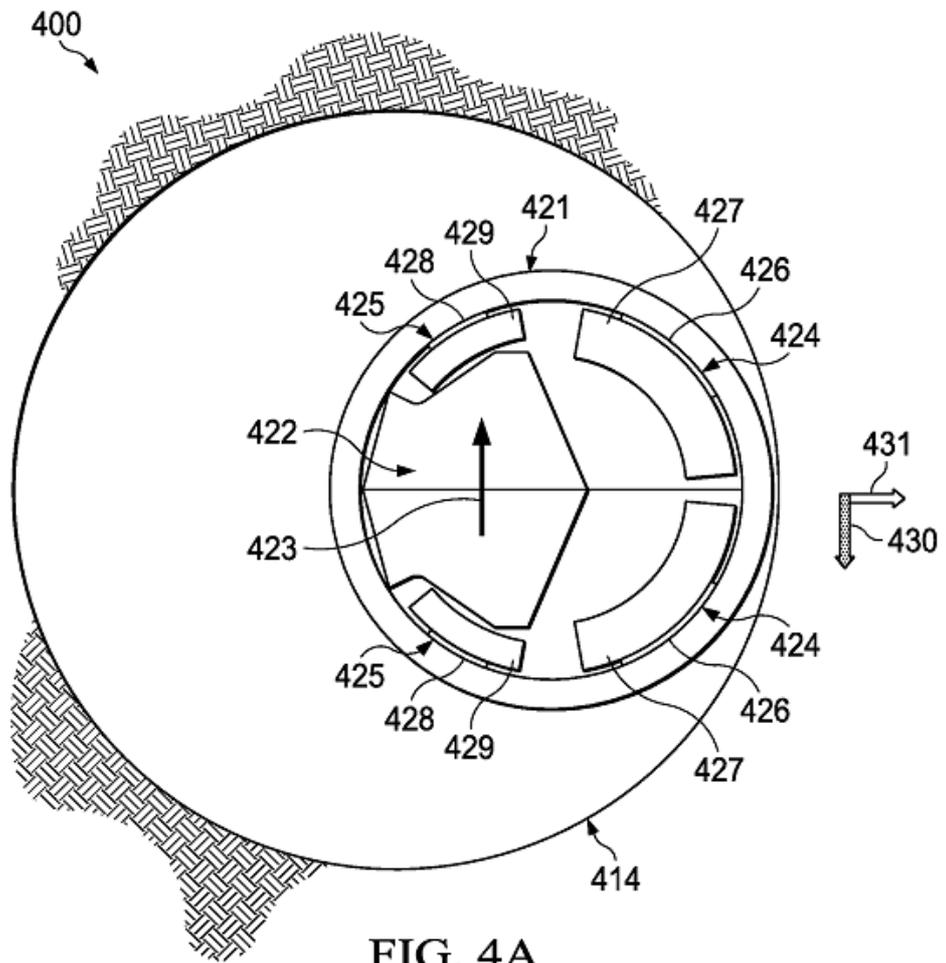


FIG. 3



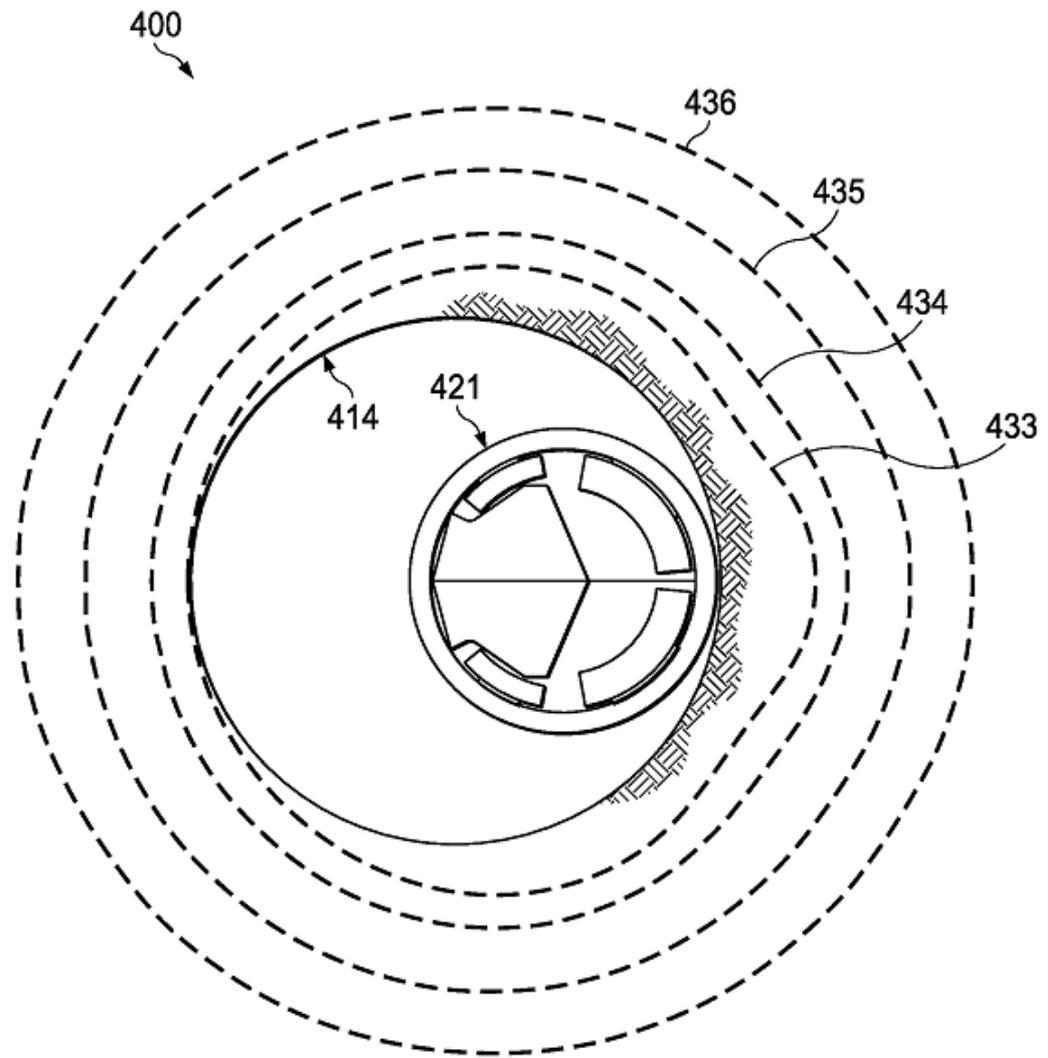


FIG. 4B

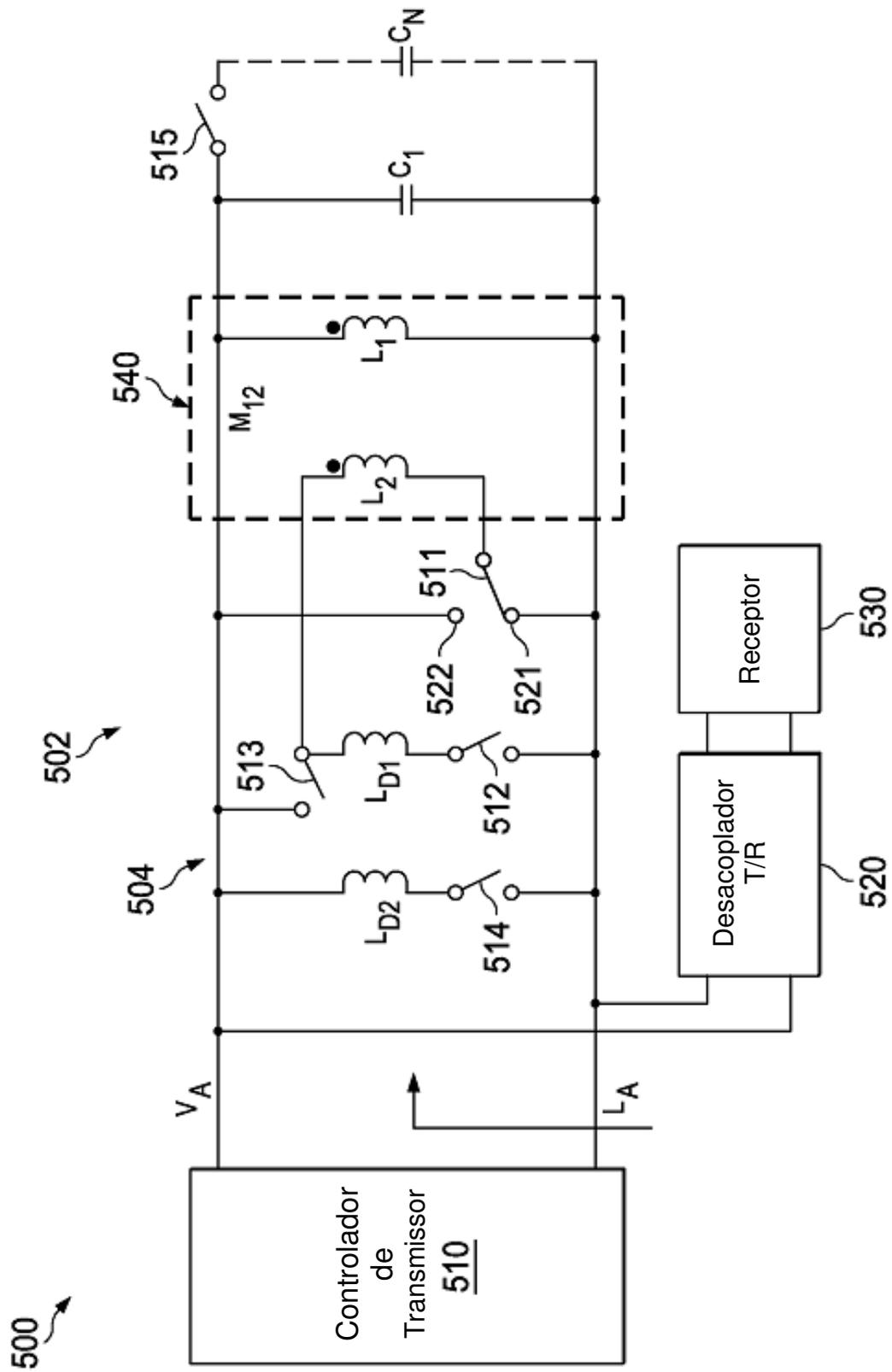


FIG. 5