



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

(21) PI 0908566-1 A2



(22) Data do Depósito: 02/03/2009

(43) Data da Publicação Nacional: 28/07/2020

(54) **Título:** MÉTODO DE MONITORAMENTO DAS CONDIÇÕES DE FURO ABAIXO EM UM FURO DE SONDAGEM PENETRANDO UMA FORMAÇÃO SUBTERRÂNEA

(51) **Int. Cl.:** E21B 47/12; E21B 47/16.

(30) **Prioridade Unionista:** 03/03/2008 US 61/033249.

(71) **Depositante(es):** INTELLISERV INTERNATIONAL HOLDING, LTD..

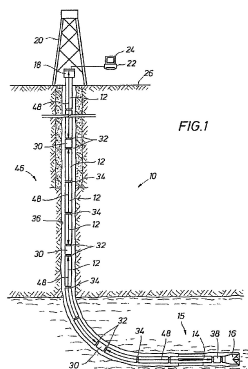
(72) **Inventor(es):** MAXIMO HERNANDEZ.

(86) **Pedido PCT:** PCT US2009035767 de 02/03/2009

(87) **Publicação PCT:** WO 2009/111412 de 11/09/2009

(85) **Data da Fase Nacional:** 03/09/2010

(57) **Resumo:** MÉTODO DE MONITORAMENTO DAS CONDIÇÕES DE FURO ABAIXO EM UM FURO DE SONDAGEM PENETRANDO UM FORMAÇÃO SUBTERRÂNEA Um método de monitoramento de condições de furo abaixo em um furo de sondagem inclui receber dados de sensor através de um rede de nós providos em posições selecionadas sobre uma coluna de perfuração disposta no furo de sondagem. É criada uma inferência sobre a condição de furo abaixo a partir dos dados de sensor. É feita uma determinação se a condição de furo abaixo se coincidir com uma condição alvo de furo abaixo com uma tolerância estabelecida. Pelo menos um parâmetro afetando a condição de furo abaixo ser ajustado seletivamente caso este não coincida com a condição alvo de furo abaixo dentro da tolerância definida.



“MÉTODO DE MONITORAMENTO DAS CONDIÇÕES DE FURO ABAIXO EM UM FURO DE SONDAGEM PENETRANDO UMA FORMAÇÃO SUBTERRÂNEA”

Referência cruzada a pedidos relacionados

5 Este pedido reivindica o benefício do pedido de patente provisório US 61/033.249, depositado em 3 de março de 2008, cuja inteira apresentação é aqui incorporada pela referência.

Campo

10 Esta invenção refere-se, de modo geral, a operações de perfuração e, mais particularmente, às técnicas de medição subterrânea distribuída.

Fundamentos

15 Operadores de perfuração precisam, logicamente, de tanta informação quanto possível sobre o furo de sondagem e as características da formação durante a perfuração de um poço para segurança e cálculo de reservas. Se surgem problemas durante a perfuração, pequenas interrupções podem ser caras para superar e, em alguns casos, representar um risco para a segurança. Uma vez que as condições econômicas atuais proveem pouca margem de erro e de custos, os operadores de perfuração têm um forte
20 incentivo para compreender plenamente as características de furo abaixo e evitar interrupções.

A coleta de informação do furo abaixo pode ser um desafio, principalmente devido ao fato do ambiente no interior do furo ser severo, sempre mudando, e qualquer sistema de sensoriamento de furo abaixo estar
25 sujeito a temperaturas elevadas, choque e vibração. Em muitos poços, a profundidade do poço na qual os sensores são posicionados, causa atenuação significativa dos sinais que são transmitidos para a superfície. Se os sinais forem perdidos, ou os dados corrompidos durante a transmissão, a confiança do operador nestes dados pode resultar em problemas significativos. Por

consequente, muitas condições de furo abaixo sensoreadas durante a perfuração de um poço têm preocupações com a confiabilidade.

Tipicamente, vários tipos de sensores podem ser colocados em um local selecionado ao longo da extremidade inferior da coluna de perfuração, e um pulsador de lama, que é parte de um sistema de medição durante a perfuração (MWD), é amplamente utilizado na indústria de campo de óleo para transmitir e enviar sinais para superfície. Sinais de sensores de fundo de furo podem ser transmitidos para a superfície de várias profundidades, mas as condições próximas ao furo de sondagem, sensoreadas a uma profundidade particular, são assumidas, geralmente, como permanecendo substancialmente as mesmas como inicialmente detectadas. Em muitas aplicações, esta suposição é errada, e as condições sensoreadas no interior do furo a uma profundidade selecionada mudam ao longo do tempo. Em outras aplicações, uma condição de furo abaixo pode não ter mudado, mas a taxa de erro nos sinais transmitidos não provê confiabilidade alta para que as condições sensoreadas sejam determinadas com precisão. Tipicamente, condições sensoreadas atualizadas não estão disponíveis para o operador de perfuração e, conseqüentemente, a maior parte das operações de perfuração incorre, desnecessariamente, em riscos e custos maiores do que o necessário.

Permanece uma necessidade de técnicas aperfeiçoadas para identificar, medir, analisar e ajustar as condições de furo abaixo durante as operações de perfuração.

Sumário

Aspectos da invenção incluem um método de monitorar condições de furo abaixo em um furo de sondagem penetrando uma formação subterrânea. O método compreende dispor uma coluna de tubulares conectados em um furo de sondagem, onde a coluna de tubulares forma uma rede eletromagnética de furo abaixo que provê um trajeto de sinal eletromagnético. O método inclui receber dados de sensores através da rede

eletromagnética de furo abaixo e criar uma inferência sobre uma condição de furo abaixo a partir dos dados de sensor. O método inclui, adicionalmente, ajustar seletivamente pelo menos um parâmetro afetando a condição de furo abaixo com base na inferência.

5 (a) Ajustar seletivamente o pelo menos um parâmetro compreende ajustá-lo seletivamente até que a condição de furo abaixo coincida com uma condição alvo de furo abaixo dentro de uma tolerância estabelecida.

10 (b) Ajustar seletivamente o pelo menos um parâmetro compreende comandar seletivamente pelo menos um dispositivo de furo abaixo através da rede eletromagnética de furo abaixo para ajustar o pelo menos um parâmetro.

(c) Ajustar seletivamente o pelo menos um parâmetro compreende ajustá-lo seletivamente de fora do furo de sondagem.

15 (d) Receber dados de sensor compreende receber dados de sensor de um ou mais primeiros sensores configurados para medir as condições de furo abaixo que são susceptíveis de mudar substancialmente ao longo do tempo.

20 (d.1) Receber dados de sensor compreende, adicionalmente, receber dados de um ou mais segundos sensores configurados para medir a profundidade da coluna de tubulares conectados no furo de sondagem quando as condições de furo abaixo são medidas.

25 (d.1.1) Criar uma inferência sobre a condição de furo abaixo compreende correlacionar a porção dos dados de sensor de um ou mais primeiros sensores com a porção dos dados de sensor de um ou mais segundos sensores.

(e) Receber dados de sensor compreende receber dados de sensor de um ou mais sensores de pressão dispostos em diferentes posições ao longo da coluna de tubulares conectados.

(e.1) Criar uma inferência sobre a condição de furo abaixo compreende gerar uma curva de gradiente de pressão utilizando os dados de sensor.

5 (e.1.1) Ajustar seletivamente o pelo menos um parâmetro compreende ajustá-lo, caso a curva de gradiente de pressão não coincida com uma condição alvo de furo abaixo dentro de uma tolerância estabelecida.

(e.1.1.1) Ajustar seletivamente o pelo menos um parâmetro compreende ajustar a distribuição de pressão ao longo do furo de sondagem para alterar a densidade aparente de circulação equivalente.

10 (e.1.1.2) Ajustar seletivamente o pelo menos um parâmetro compreende um de (i) ativar e controlar um ou mais restritores variáveis de fluxo para restringir o fluxo em um segmento anular entre o furo de sondagem e a coluna de tubulares caso a pressão no fundo do furo de sondagem seja menor do que uma pressão alvo de fundo e (ii) ativar e controlar um ou mais
15 restritores variáveis de fluxo para restringir o fluxo no interior de um furo da coluna de tubulares caso a pressão no fundo do furo de sondagem seja maior do que uma pressão alvo de fundo.

(f) Receber dados de sensor compreende receber dados de sensor de um ou mais terceiros sensores configurados para medir condições
20 de furo abaixo que não são susceptíveis de mudar substancialmente ao longo do tempo.

(g) Receber dados de sensor compreende receber informação sobre mudanças na condição de furo abaixo em uma profundidade selecionada no furo de sondagem ao longo do tempo.

25 (h) Receber dados de sensor compreende receber dados de sensor coletados por um primeiro sensor em uma primeira posição sobre a coluna de tubulares quando o primeiro sensor está a uma primeira profundidade selecionada no furo de sondagem e dados de sensor coletados por um segundo sensor em uma segunda posição sobre a coluna de tubulares,

quando o segundo sensor está na primeira profundidade selecionada, a primeira posição sendo espaçada axialmente da segunda posição ao longo da coluna de tubulares.

5 (i) Receber dados de sensor compreende receber os dados de sensor coletados.

(j) Dados de sensor coletados pelo primeiro sensor e pelo segundo sensor referem-se a um perfil de calibrador do furo de sondagem na primeira profundidade selecionada.

10 (k) Receber dados de sensor ocorre em intervalos de tempo selecionados.

(l) Receber dados de sensor é precedido pelo envio de um ou mais comandos para um ou mais sensores através da rede eletromagnética de furo abaixo para medir uma ou mais condições de furo abaixo.

15 (m) A condição de furo abaixo é a estabilidade dinâmica da coluna de tubulares.

(m.1) Ajustar seletivamente o pelo menos um parâmetro compreende atuar um dispositivo de contrapeso para contrabalançar harmônicos selecionados sobre a coluna de tubulares.

20 (m.2) O pelo menos um parâmetro é um parâmetro de entrada para a coluna de tubulares selecionado do grupo consistindo de vazão, peso sobre a broca, e velocidade de rotação.

Descrição resumida de desenhos

25 Outros aspectos e vantagens da invenção se tornarão aparentes após a leitura da descrição detalhada a seguir e pela referência aos desenhos nos quais elementos iguais receberam numerais iguais e, nos quais:

a FIG. 1 é um esquema de uma torre de perfuração mostrando uma aplicação de perfuração direcional e um sistema para sensoriar características de furo de sondagem ou de formação, de acordo com aspectos da invenção.

A FIG. 2 é um diagrama de blocos funcional de um esquema de transmissão de dados de uma pluralidade de sensores, de acordo com aspectos da invenção.

5 A FIG. 3 é um gráfico representativo para analisar medições nas mesmas profundidades para mudanças ao longo do tempo, de acordo com aspectos da invenção.

A FIG. 4A é um esquema de um sistema de perfuração com aspectos da invenção.

10 A FIG. 4B é um gráfico de pressão de furo abaixo, durante bombeamento, de acordo com aspectos da invenção.

A FIG. 4B é um gráfico de pressão de furo abaixo sem bombeamento, de acordo com aspectos da invenção.

A FIG. 5A é um esquema de uma conexão com estabilizador variável em modo retraído, de acordo com aspectos da invenção.

15 A FIG. 5B é um esquema de uma conexão com estabilizador variável no modo estendido, de acordo com aspectos da invenção.

A FIG. 5C é um esquema de um mecanismo para atuar o estabilizador variável das FIGS. 5A e 5B, de acordo com aspectos da invenção.

20 A FIG. 6 é um esquema de um sistema de perfuração e gráficos de pressão no furo abaixo, de acordo com aspectos da invenção.

A FIG. 7 é um fluxograma de um processo de análise/controle de pressão no furo abaixo, de acordo com aspectos da invenção.

25 A FIG. 8A é um esquema de uma conexão com restritores variáveis no modo retraído, de acordo com aspectos da invenção.

A FIG. 8B é um esquema de uma conexão com restritores variáveis no modo estendido, de acordo com aspectos da invenção.

A FIG. 8C é um esquema de um mecanismo para atuar o estabilizador variável das FIGS. 8A e 8B, de acordo com aspectos da

invenção.

A FIG. 9 é um fluxograma de um processo de análise/controle de pressão no furo abaixo, de acordo com aspectos da invenção.

5 As FIGS. 10A-10C ilustram gráficos de medições diferenciais, de acordo com aspectos da invenção.

As FIGs. 11A-11E ilustram gráficos de medições de frequência, de acordo com aspectos da invenção.

A FIG. 12A é um esquema de um sistema de perfuração com um sistema de contrapeso, de acordo com aspectos da invenção.

10 A FIG. 12B é um esquema de dispositivo de peso rotativo, de acordo com aspectos da invenção.

Descrição detalhada

A FIG. 1 ilustra uma operação de perfuração 10 na qual um furo de sondagem 36 está sendo perfurado através da formação subterrânea abaixo da superfície 26. A operação de perfuração inclui uma torre de perfuração 20 e uma coluna de perfuração 12 de tubulares acoplados que se estende da torre 20 para o furo de sondagem 36. Um conjunto de fundo de furo (BHA) 15 é provido na extremidade inferior da coluna de perfuração 12. O conjunto de fundo de furo (BHA) 15 pode incluir uma broca de perfuração ou outro dispositivo de corte 16, um pacote de sensor de broca 38, e um motor de perfuração direcional ou dispositivo direcionável rotativo 14, como mostrado na FIG. 1.

25 A coluna de perfuração 12 inclui, de preferência, uma pluralidade de nós de rede 30. Os nós 30 são providos em intervalos desejados ao longo da coluna de perfuração. Os nós de rede funcionam, essencialmente, como repetidores de sinal para regenerar sinais de dados e reduzir a atenuação de sinal, quando os dados são transmitidos para cima e para baixo da coluna de perfuração. Os nós 30 podem ser integrados em uma seção existente de tubo de perfuração ou em uma ferramenta de furo abaixo ao longo da coluna

de perfuração. O pacote de sensor 38 no BHA 15 também pode incluir um nó de rede (não mostrado separadamente). Para os fins desta apresentação, o termo "sensores" é entendido para compreender fontes (para emitir/transmitir energia/sinais), receptores (para receber/detectar energia/sinais), e transdutores (para operar como fonte/receptor). Os conectores 34 representam conectores de junta de tubo de perfuração, enquanto os conectores 32 conectam um nó 30 a uma junta de tubo de perfuração superior e inferior.

Os nós 30 compreendem uma porção de uma rede eletromagnética de furo abaixo 46 que provê um trajeto de sinal eletromagnético usado para transmitir informação ao longo da coluna de perfuração 12. A rede de furo abaixo 46 pode, desse modo, incluir múltiplos nós 30 baseados ao longo da coluna de perfuração 12. Enlaces de comunicação 48 podem ser usados para conectar os nós 30 uns aos outros, e podem compreender cabos ou outra mídia de transmissão integrada diretamente em seções da coluna de perfuração 12. O cabo pode ser encaminhado através do furo central da coluna de perfuração 12, ou encaminhados externamente à coluna de perfuração 12, ou montado dentro de uma ranhura, entalhe, ou passagem na coluna de perfuração 12. Preferencialmente, sinais da pluralidade de sensores no pacote de sensor 38 e em outros lugares ao longo da coluna de perfuração 12 são transmitidos para a superfície 26 através de um fio condutor 48 ao longo da coluna de perfuração 12. Enlaces de comunicação entre os nós 30 também podem usar conexões sem fio.

Uma pluralidade de pacotes podem ser usados para transmitir informação ao longo dos nós 30. Os pacotes podem ser usados para portar dados de ferramentas ou sensores localizados no interior do furo para um nó 30 furo acima, ou podem portar informação ou dados necessários para operar a rede 46. Outros pacotes podem ser usados para enviar sinais de controle do nó superior 30 para ferramentas ou sensores localizados em várias posições

no furo abaixo. Detalhes adicionais em relação a nós apropriados, uma rede, e pacotes de dados são apresentados na patente US. 7.207.396 (Hall et al., 2007), aqui incorporada em sua totalidade pela referência.

Com referência à FIG. 2 vários tipos de sensores 40 podem ser empregados ao longo da coluna de perfuração 12 em aspectos da presente invenção, incluindo, sem limitação, sensores axialmente espaçados de resistividade, calibrador, acústicos, de resistência de rocha (sônicos), de pressão, sensores de temperatura, dispositivos sísmicos, medidores de esforço, inclinômetros, magnetômetros, acelerômetros, sensores de dobramento, vibração, nêutron, gama, gravimétricos, de rotação, sensores de vazão, etc. Sensores que medem condições que, logicamente, experimentam mudança significativa ao longo do tempo, proveem informação particularmente valiosa para o operador de perfuração. Por exemplo, a configuração do calibrador ou seção transversal de um furo de sondagem a uma profundidade particular pode mudar durante a operação de perfuração, devido às condições de estabilidade de formação e desmoronamento por fluido. A película de uma formação que define o furo de sondagem pode tender a absorver fluidos no poço e, portanto, também pode mudar ao longo do tempo, especialmente se o poço for prevalente. Pela provisão de um sistema que permita que um sensor transmita para a superfície de uma profundidade conhecida, substancialmente em tempo real, uma característica de furo de sondagem ou de formação, como o calibrador do poço, e provendo outro sensor que possa prover o mesmo tipo de informação de, substancialmente, a mesma profundidade com um sensor diferente quando o poço é aprofundado, o operador é capaz de comparar o perfil de calibrador do furo de furo de poço em uma profundidade selecionada no momento um e, posteriormente, medir o mesmo calibrador, substancialmente na mesma profundidade, no momento dois. Isso permite que o operador compreenda melhor as mudanças que ocorrem no poço ao longo do tempo, e tomar medidas que atenuarão as mudanças indesejáveis. Outros

sensores que monitoram condições que possam degradar ou mudar ao longo do tempo incluem sensores que medem a estabilidade do furo de sondagem, sensores de resistividade, sensores de medições de densidade de circulação equivalente (ECD), sensores primário e/ou secundário de porosidade, sensores do tipo nuclear, sensores de temperatura, etc.

Outros sensores podem monitorar condições que não são susceptíveis de mudar substancialmente ao longo do tempo, como a inclinação do furo de sondagem, sensores de pressão de poros, e outros sensores que medem as propriedades petrofísicas da formação ou do fluido na formação. Neste último caso, um operador pode usar os sinais dos sensores em diferentes momentos para fazer uma melhor determinação do estado real sensoreado. Por exemplo, a inclinação de um furo de furo de poço a uma profundidade particular provavelmente não mudará. Desse modo, pode ser calculada a média da medição da inclinação no momento um com uma inclinação na mesma profundidade no momento dois e outra medição de inclinação, na mesma profundidade, no momento três, de modo que a média desses três sinais da mesma profundidade, coletados por três vezes, proverá, provavelmente, uma indicação mais precisa da inclinação real do furo de sondagem, ou a interpretação de uma mudança incremental em uma profundidade particular.

De acordo com um aspecto da invenção, um operador na superfície pode instruir um sensor particular para fazer uma medição selecionada. Entretanto, na maior parte das aplicações, uma pluralidade de sensores substancialmente idênticos para sensorear uma característica particular da coluna de perfuração, do furo de poço ou da formação será provida ao longo da coluna de perfuração, e cada um destes sensores gerará um sinal em um intervalo de tempo selecionado, por exemplo, a cada décimo de segundo ou a cada segundo, de modo que os sinais, de qualquer profundidade, possam ser correlacionados com sinais de um sensor similar em

outra profundidade. Desse modo, um perfil completo da condição sensoreada, baseado em um primeiro sensor em função da profundidade, pode ser plotado pelo computador, e um gráfico de lapso de tempo pode ser representado para as medições de um segundo sensor, quando na mesma profundidade, em um momento posterior. Além disso, deve-se entender que o sistema pode utilizar sensores capazes de fazer leituras de confiança, enquanto a coluna perfura e, desse modo, os sensores estando girando no poço, mas, em outra aplicação, a rotação da coluna de perfuração pode ser interrompida por alguns instantes para que as condições sensoreadas possam ser obtidas de sensores estacionários, em seguida, a perfuração sendo retomada. Em ainda outros aspectos, a coluna de perfuração pode deslizar ou girar lentamente no poço enquanto as condições sensoreadas são monitoradas, com a maior parte da energia para a broca sendo provida pelo motor de furo abaixo ou dispositivo direcionável rotativo.

Uma vantagem significativa da presente invenção é a capacidade de analisar as informação dos sensores quando há um efeito de lapso de tempo entre uma condição particular sensoreada a uma determinada profundidade, e a mesma condição subsequente sensoreada na mesma profundidade. Conforme revelado aqui, o sistema provê sensores para sensorear características a uma profundidade selecionada em um poço, e, uma profundidade particular, que interesse particularmente ao operador, pode ser "selecionada" com sinais desta profundidade e, em particular mudança e taxa de mudança para determinadas características. Essas mudança e taxa de mudança (lapso de tempo nos sinais transmitidos) podem ser exibidas para o operador em tempo real. Entretanto, dito de outra maneira, a informação de um sensor em localizações axiais selecionadas, ou após um lapso de tempo selecionado, pode ser importante, e o termo "selecionado(a)", conforme usado aqui, incluiria um sinal de qualquer profundidade conhecida, presumida, ou selecionada.

A FIG. 2 ilustra, conceitualmente, um tubo de perfuração 12 tendo uma pluralidade de sensores espaçados axialmente 40, espaçados ao longo da coluna de perfuração, cada um para sensorear a mesma característica de furo de sondagem ou formação. Múltiplos e variados sensores 40 podem ser distribuídos ao longo do tubo de perfuração 12 para sensorear várias características/parâmetros diferentes. Os sensores 40 podem ser dispostos sobre os nós 30 posicionados ao longo da coluna de perfuração, dispostos sobre ferramentas incorporadas na coluna de tubos de perfuração, ou em uma combinação destes. A rede de furo abaixo transmite informação de cada sensor de uma pluralidade de sensores 40 para um computador na superfície 22, que também recebe informação de um sensor de profundidade 50 via linha 51. O sensor de profundidade 50 monitora o comprimento da coluna de perfuração inserida no poço e, desse modo, as saídas dos sensores 40 podem ser correlacionados pelo computador 22, em função da suas profundidades no poço.

Informação proveniente do computador no local do poço 22 pode ser exibida para o operador de perfuração em uma tela no local do poço 24. A informação também pode ser transmitida do computador 22 para outro computador 23 localizado em um local afastado do poço, com este computador 23 permitindo que alguém, no escritório afastado do poço, examine os dados gerados pelos sensores 40. Embora apenas alguns poucos sensores 40 estejam mostrados nas figuras, aqueles experientes na técnica entenderão que um número maior de sensores pode ser disposto ao longo de uma coluna de perfuração quando da perfuração de um poço bastante profundo, e que todos os sensores associados a qualquer nó particular podem ser alojados no interior, ou anexados ao nó 30, de modo que uma variedade de sensores, em vez de um único sensor, estará associada a esse nó particular.

A FIG. 3 mostra um gráfico de características de informação de furo de sondagem sensoreadas, numeradas de 1 e 2, cada uma plotada em

função da profundidade e também plotada em função do momento em que as medições foram feitas. Para a característica # 1, a passagem 1 ocorre em primeiro lugar, a passagem 2 ocorre mais tarde, e a passagem 3 ocorre após a
5 passagem 2. A área representada por 60 mostra a diferença nas medições entre as passagens 1 e 2, enquanto a área representada por 62 representa uma diferença nas medições entre as passagens 2 e 3. O sinal forte na profundidade D1 para a primeira passagem é, desse modo, novo, e é reduzido ainda mais para as passagens 2 e 3. Para a característica # 2, a área 64 representa a diferença entre os sinais nas passagens 1 e 2, e a área 66 representa a
10 diferença entre os sinais nas passagens 2 e 3. Para esta característica de informação de furo de sondagem, a intensidade de sinal aumenta entre as passagens 1 e 2, e aumenta ainda mais entre as passagens 2 e 3.

Aqueles experientes na técnica apreciarão que várias formas de marcações podem ser empregadas para diferenciar uma primeira passagem
15 de uma segunda passagem, e uma segunda passagem de uma passagem subsequente, e que, observando-se a diferença de área sob a curva de sinais de diferentes passagens é apenas uma maneira de determinar a característica desejada do furo de sondagem ou formação. Assumindo-se que essa característica # 2 seja o tamanho do furo de sondagem, o operador pode, desse
20 modo, assumir que, a uma profundidade um pouco acima da profundidade D1, o furo de sondagem aumentou de tamanho, e voltou novamente a aumentar de tamanho entre as tomadas das medições nas passagens 2 e 3. Para todos os sinais exibidos, estes podem ser exibidos como uma função da pluralidade de sensores em um único local eleito em um furo de sondagem, de modo que um
25 sinal enviado de uma profundidade de, por exemplo, 472,44m, seja comparado com um sinal similar ao de um sensor similar, subsequentemente, a uma profundidade de 472,44m.

Aspectos da invenção também incluem a identificação da dinâmica da coluna de perfuração 12 e a estabilização de distribuições de

forças ao longo da coluna durante operações de perfuração. Os sensores 40, ao longo da coluna 12 e/ou sobre os nós 30, são usados para obter informação de perfuração, processar os dados, e instigar reações por afetar o estado mecânico do sistema de perfuração, afetando o escoamento de fluido através de tubos de perfuração, o escoamento de fluido ao longo do segmento anular entre a coluna e o furo de sondagem 36, e/ou comandando outro dispositivo (por exemplo, um nó) para executar uma operação.

A rede de telemetria 46 (conforme descrito na patente US 7.207.396, adjudicada ao presente cessionário e totalmente incorporada aqui pela referência) provê a espinha dorsal de comunicação para aspectos da invenção. Inúmeras medições de dinâmica de coluna de perfuração podem ser feitas ao longo da coluna 12, usando as entradas de sensor 40, como apresentado aqui. Em alguns aspectos da invenção, por exemplo, as medições feitas nos sensores 40 podem ser uma, ou um grupo de medições de inclinações tri-axiais (magnéticas e de aceleração), pressão hidráulica interna, externa, torque e tração/compressão. Com estas medições, várias técnicas de análise e ajuste podem ser implementadas de forma independente ou como parte de uma coluna auto-estabilizante.

Aspectos compreendendo sensores acústicos 40 podem ser usados para executar análises em tempo real de frequência, amplitude e velocidade de propagação para determinar propriedades subterrâneas de interesse, como o calibrador do furo de sondagem, velocidade de onda compressiva, velocidade de onda cisalhante, modos de furo de sondagem, e lentidão de formação. Imagens acústicas subterrâneas melhoradas também podem ser obtidas para mostrar as condições de parede de furo de sondagem e outras características geológicas distantes do furo de sondagem. Estas medições acústicas têm aplicações em petrofísica, correlação poço-a-poço, determinação da porosidade, determinação de parâmetros de rocha mecânicos ou elásticos para prover uma indicação sobre a litologia, detecção de zonas de

formação com excesso de pressão, e na conversão de traços de tempo sísmicos em traços de profundidade com base na velocidade do som medida na formação. Aspectos da invenção podem ser implementados usando-se fontes acústicas convencionais dispostas sobre os nós 30 e/ou sobre ferramentas ao longo da coluna 12, com circuitos e componentes apropriados, como é conhecido na técnica. A comunicação em tempo real com os sensores acústicos 40 é implementada via rede 46.

Um aspecto da invenção provê controle automático de pressão de furo abaixo. A FIG. 4A mostra uma coluna de perfuração 12 implementada com três sensores 40 ao longo da coluna para adquirir medições de pressão interna e externa. Durante operações de perfuração, o fluido de perfuração ("lama") é bombeado através da coluna 12, como é conhecido na técnica, e ocorre uma certa distribuição de pressão ao longo do furo de sondagem. A FIG. 4B mostra a curva de Pressão Hidrostática durante o bombeamento de fluido de perfuração através da coluna de perfuração 12. BHP_d representa pressão dinâmica de fundo de furo. P_{HS} representa a pressão hidrostática teórica. P_i é a pressão no interior da coluna de perfuração 12 e P_o é a pressão fora da coluna de perfuração 12. A diferença entre P_i e P_o é a perda da pressão ou rebaixamento. Quando as operações de perfuração param (por exemplo, para adicionar/remover um tubular ou por qualquer outra razão, incluindo falhas), o sistema hidráulico interno e externo para a coluna 12 se estabilizará conforme as curvas de Pressão Hidrostática, como mostrado na FIG. 4C. Nesse ponto, a pressão interna do tubo de perfuração P_i é equivalente a zero na superfície, uma vez que a conexão da bomba foi removida.

Os estados descritos acima ocorrem a qualquer momento no processo de perfuração. A constante mudança de pressão de fundo de furo exerce uma força para a formação rochosa no fundo e ao longo do furo de sondagem que é dependente do peso da lama, da vazão e da área de fluxo total na broca de perfuração 16. Esta pressão interage com as rochas da formação

que, em certos casos, podem ser afetadas mecanicamente caso a pressão de fundo de furo esteja além ou abaixo de limites da característica de resistência da rocha. Esses limites são comumente conhecidos como pressão de rompimento (a pressão na qual uma pedra começa a se romper e cair no furo de poço em pedaços pequenos, devido à falta de suporte proveniente da
5 pressão hidrostática ou dinâmica) e pressão de fratura (a pressão na qual um rocha se parte na direção de tensão mínima devido ao excesso de tensão).

O primeiro caso, que é provocado por uma pressão de fundo de furo menor do que a necessária para manter a formação rochosa estável, é
10 resolvido por um aspecto da invenção que implica em uma conexão de controlador variável de área de fluxo anular (70 nas FIGS. 5A-5C). O controlador 70 pode incluir restritores de área fixos e restritores de área extensíveis. Na FIG. 5A, o controlador 70 está no modo retraído e os restritores de área fixos 72a estão visíveis. Na FIG. 5B, o controlador 70 está
15 no modo estendido e os restritores de área extensíveis 72b estão visíveis juntamente com os restritores de área fixos 72a. No modo estendido, a área de fluxo no segmento anular 71 entre o controlador 70 e o furo de sondagem 36 é restringida pela extensão dos restritores de área 72b para o anel 71. A FIG. 5C mostra um mecanismo para atuar os restritores de área 72b do controlador 70.
20 Os restritores de área 72b são atuados com o fluxo de lama que é desviado do diâmetro interno do tubo 12 via válvulas 69a, 69b para um atuador de pistão 73 que expande ou estende os restritores de área 72b provocando um diferencial de pressão positivo por todo o dispositivo. A conexão de controlador 70 compreende uma seção de tubo 12 implementada com
25 componentes conhecidos na técnica (por exemplo, lâminas extensíveis similares a nervuras separadas). Como mostrado na FIG. 5C, os controladores 70 podem ser configurados com uma área de contra-atuação 72 de modo que o fluxo de lama ascendente ao longo do segmento anular ajude a estender os estabilizadores. O tubo 12 também pode ser implementado com válvulas

apropriadas para desafogar a pressão interna para o exterior do tubo. Eletrônica convencional, 96 componentes, e hardware e podem ser usados para implementar aspectos da invenção. A conexão de controlador 70 pode ser implementada com o acumulador de pressão 97. A FIG. 5A mostra o controlador 70 em um modo retraído com uma área de fluxo A_0 compreendendo áreas não restringidas A_1 – A_5 . A FIG. 5B mostra o controlador 70 em um modo estendido, com os restritores estendidos 72b reduzindo a área combinada de fluxo (A_0 na FIG. 5A). Por exemplo, a área A_{1p} (na FIG. 5B) < A_1 (na FIG. 5A) e a área A_{3p} (na FIG. 5B) < A_3 (na FIG. 5A), devido aos restritores estendidos 72b. O tubo 12 pode ser configurado com qualquer número (por exemplo, 1, 2, 3, etc.) de restritores extensíveis 72b e qualquer número de restritores combinados fixos/extensíveis 72a, 72b, como desejado. O controlador 70, de modos de realização da invenção, também pode ser configurado usando-se vários materiais (por exemplo, PEEK™, borracha, compósitos, etc.) e em quaisquer configurações apropriadas (por exemplo, do tipo inflável, etc.). Aspectos também podem ser configurados com restritores de área que podem ser graduados individualmente.

A FIG. 6 mostra um aspecto da invenção com a coluna de perfuração 12 incorporando conexões de controladores variáveis de área de fluxo anular 70. Com os sensores 40 distribuídos e os controladores 70 ligados à rede 46, as condições de pressão de furo abaixo alvo podem ser identificadas e os estabilizadores podem ser ativados seletivamente para estender seu restritor(es) ao longo da coluna para reduzir o fluxo de lama ao longo do segmento anular. A ativação das conexões de controladores 70 provê uma maneira eficaz para aumentar/diminuir a pressão ao longo do furo de sondagem para alterar a densidade aparente de circulação equivalente (ECD), como desejado. ECD é a densidade de fluido de perfuração que seria necessária para produzir a mesma pressão efetiva de furo de sondagem como a combinação de densidade de fluido, pressão de circulação, e carga de

detritos de corte do fluido de perfuração no furo de poço. A atuação individual do controlador 70 pode ser controlada manual ou automaticamente via rede de comunicação 46. Aspectos com ativação automática do controlador 70 podem ser implementados por uma programação apropriada, como pelo Algoritmo I, que está definido na FIG. 7.

Com referência à FIG. 7, o Algoritmo I inclui a criação de uma curva de gradiente a partir de pressão de dados recebidos de sensores de pressão interna e externa (100). Se uma curva de gradiente de pressão já existir, ela pode ser atualizada com a nova informação, em vez de gerar uma nova curva. O Algoritmo I inclui comparar a curva de gradiente de pressão gerada a um gradiente de pressão desejado (102). O Algoritmo I inclui verificar se a diferença entre o gradiente de pressão gerado e o gradiente de pressão desejado exceder uma tolerância definida (104). Se a resposta para a etapa 104 for não, as etapas 100 e 102 são repetidas até que a resposta para a etapa 104 seja sim. Deve-se notar que as etapas 100 e 102 podem ser repetidas em horários determinados, ao invés de continuamente, uma vez que pode ser um pouco demorado antes que a resposta para a etapa 104 seja positiva. Caso a resposta para a etapa 104 seja sim, o Algoritmo I, então, verifica se a pressão de furo abaixo é menor do que a pressão desejada (106). Se a resposta para a etapa 106 for sim, o Algoritmo I envia um comando para aumentar a pressão em um restritor de área (108). Em seguida, o Algoritmo I verifica se o restritor de área selecionado atingiu a posição de abertura máxima (110). Se a resposta para a etapa 110 for não, o Algoritmo I retorna para a etapa 106. Se a resposta para a etapa 106 ainda for sim, então, as etapas 108 e 110 são repetidas. Em prol do argumento, se a resposta para a etapa 110 for sim, ou seja, que o restritor de área atingiu sua posição de abertura máxima, então, o Algoritmo I verifica se o restritor de área na posição máxima de abertura é o restritor de área mais alto (112). Caso a resposta para a etapa 112 seja sim, o Algoritmo I aconselha o sistema para ajustar a vazão

ou o peso da lama (118). Entretanto, se a resposta para a etapa 110 for não, ou seja, que o restritor de área que atingiu a posição de abertura máxima não é o restritor de área mais alto, então, o Algoritmo I envia um comando para focalizar no próximo restritor de área (118) e para aumentar a pressão no restritor de área (120). O Algoritmo I retorna para a etapa 106 para determinar se o aumento de pressão resolveu o problema ou se é necessário aumento adicional de pressão no restritor de área. Este processo foi descrito acima. Se, na etapa 106, a resposta for não, ou seja, a pressão mais ao fundo não for menor do que a pressão desejada, o Algoritmo I ativa uma rotina de redução de pressão (122), esboçada na FIG. 9 e que será descrita a seguir.

Outro caso, onde a pressão de fundo de furo é maior, é provocado, geralmente, por uma combinação do peso de lama (densidade), velocidade de escoamento de lama e outros fatores. Outro aspecto da invenção é mostrado nas FIGS. 8A, 8C. Neste aspecto, uma conexão de controlador interno de área de fluxo 70 é implementado com um ou mais restritores variáveis internos 74 controlados por eletrônica 90, pistões 91, acumuladores de pressão 92, válvulas 93, 94, área de contra-atuação para fluxo descendente 95, e componentes adicionais incorporados ao tubo, similar ao aspecto da FIG. 5C. A FIG. 8A mostra a conexão de controlador 70 com os restritores 74 em um modo retraído, provendo uma área não restringida de fluxo no diâmetro interno do tubo A. A FIG. 8(b) mostra os restritores 74 em um modo estendido, reduzindo a área de fluxo no diâmetro interno, de modo que $A_{1p} < A$ devido aos restritores estendidos 74. O tubo 12 pode ser configurado com qualquer número (por exemplo, 1, 2, 3, etc.) de restritores extensíveis 74 e outros aspectos podem incluir uma combinação de restritores internos fixo/extensíveis (não mostrado), quando desejado. Aspectos também podem ser configurados com restritores 74 que podem ser graduados individualmente. A ativação do restritor(es) 74 pode ser controlada manual ou automaticamente via rede 46. Aspectos, com ativação automática do

controlador 70 podem ser implementados por uma programação apropriada, como pelo algoritmo II, definido na FIG. 9. A ativação dos restritores 74 provê uma maneira para aumentar/reduzir o fluxo através do tubo 12, desse modo, aumentando/reduzindo a pressão de fundo de furo, como desejado.

5 Com referência à FIG. 9, o Algoritmo II inclui verificar se a pressão de fundo de furo é maior do que o gradiente de pressão desejado (124). Se a resposta para a etapa 124 for não, o Algoritmo II termina (125). Se a resposta para a etapa 124 for sim, o Algoritmo II envia um comando para atuar e aumentar a restrição de fluxo até que a pressão desejada seja atingida
10 ou a restrição de fluxo alcance a posição de abertura máxima (126). O Algoritmo II verifica se o gradiente de pressão desejado foi atingido com alguma tolerância (128). Se a resposta para a etapa 128 for sim, o Algoritmo II informa que o ativador era necessário (130) e termina (132). Se a resposta para a etapa 128 for não, os restritores ao longo da coluna de perfuração são
15 usados para ajustar adicionalmente a pressão (134). O Algoritmo II verifica, novamente, se o gradiente de pressão desejado foi atingido com alguma tolerância (136). Se a resposta para a etapa 136 for sim, o Algoritmo II repete a etapa II 130 e termina em 132. Se a resposta para a etapa 136 for não, o Algoritmo II gera um alerta de que o gradiente precisa de fluxo de lama ou
20 peso da lama reduzidos (138) e termina (140).

A identificação de características de furo abaixo, análise e técnicas de controle aqui apresentadas, permitem monitorar e ajustar as condições de furo abaixo durante a perfuração, em tempo real, e em pontos desejados ao longo da coluna de perfuração, por exemplo, uma coluna de
25 perfuração equipada com conexões de controladores variáveis de área de fluxo anular 70 (Ver FIG. 6) pode ser operada com um ou mais restritores variáveis 72 estendidos em diferentes pontos/profundidades ao longo da coluna de modo que, a pressão/fluxo ao longo de regiões selecionadas no furo de sondagem possa ser definida ou mantida como desejado. Por exemplo,

pressão, fluxo, temperatura, calibrador, e outros dados desejados são obtidos por meio de sensores 40 distribuídos sobre a coluna e alimentados para a superfície ou para outros pontos ao longo da coluna, via rede 46. Similarmente, a pressão/fluxo internos de lama ao longo da coluna 12 podem ser ajustados conforme desejado com os aspectos, incluindo os restritores variáveis internos 74, como aqui apresentado.

Outros aspectos da invenção proveem técnicas de identificação, de análise e de estabilização da dinâmica da coluna de perfuração. Neste aspecto, os sensores 40 distribuídos ao longo da coluna de perfuração 12 permitem que alguém execute uma análise de frequência de medições diferenciais. As FIGS. 10A-10C plotam distribuições dinâmicas de coluna de perfuração ao longo de uma coluna de perfuração tubular 12. Como é conhecido na técnica, vários sensores 40 (por exemplo, inclinômetros, magnetômetros, acelerômetros, gravímetros, etc) podem ser usado no furo abaixo para determinar as propriedades de sistema dinâmico de uma coluna de perfuração. Aspectos da invenção podem ser implementados para prover medições de distribuição de amplitude como entradas por toda a rede 46, a separação de frequência de picos e oscilação da frequência dominante para ruído também podem ser obtidas. Essas medições proveem uma vantagem na identificação de condições de furo abaixo, como emperramento e deslizamento, frequências de turbilhonamento e de harmônicos/ressonantes mutáveis de um sistema com ambiente e forma de coluna de perfuração mutáveis, especialmente em relação aos sensores de 40 ao longo da coluna que são adjacentes uns aos outros.

Um aspecto da invenção provê análise executada em um processo onde as entradas são reconhecidas pela primeira vez (por exemplo, RPM (velocidade de rotação), vazão, peso sobre a broca (WOB)), como mostrado na FIG. 10A. A representa a amplitude nas FIGS. 10A-10C. Os vários componentes das propriedades dinâmicas da coluna de perfuração são,

então, plotados e visualizados no domínio de frequência. A FIG. 10B mostra um momento no tempo (instantâneo (snapshot)) das entradas. Análise é executada para estabelecer uma relação entre as entradas e as características de frequência das medições. A mudança em entradas de superfície afetará o comportamento dos diferentes "picos" de frequência, como plotado na FIG. 10B. Na FIG. 10B, Δf representa a separação de picos. A amplitude provê uma indicação de perda de energia em um ponto na coluna. A oscilação indica a mudança na velocidade no furo abaixo, quando a oscilação é diferente entre os picos, isto indicará emperramento e deslizamento de torque cumulativo. A separação entre os picos denota a diferença na velocidade de rotação em pontos de medição. A estabilização é alcançada por mudanças de retroalimentação rápidas de parâmetros de superfície, até que o máximo possível de energia seja gasto na broca, ao invés de ao longo da coluna (picos levados ao seu tamanho mínimo), conforme ilustrado na FIG. 10C. Aspectos da invenção podem ser configurados com software de autoaprendizagem (inteligência artificial) como conhecido na técnica. Estas implementações poderiam implicar em um processo de aprendizagem de furo abaixo. Essas medições proveem uma maneira de identificar harmônicos de coluna de perfuração, acúmulo/liberação de energia ao longo da coluna, e permitir que alguém aplique técnicas de estabilização/compensação.

Outro aspecto da invenção envolve análise de frequência em medições de pressão diferencial de dentro e de fora do tubo 12, que podem ser obtidas com os sensores 40 distribuídos. As FIGS. 11A-11E mostram um aspecto da invenção que provê uma análise em um processo de agrupamento de eventos em frequências e amplitudes para ajudar na identificação e diagnóstico. A FIG. 11A mostra um gráfico da pressão interna *versus* tempo para uma pluralidade de medições de sensor, onde o nó ou enlace 4 está mais baixo no furo de sondagem em relação à posição de enlace 1. A FIG. 11B mostra um gráfico da pressão externa *versus* tempo para uma pluralidade de

medições de sensor, onde o enlace 4 está mais baixo no furo de sondagem em relação à posição de enlace 1. O objetivo é encontrar eventos comportamentais na coluna de perfuração que afetam as condições ideais de distribuição de pressão dentro/fora da coluna. Isto é obtido através da transformação da diferença em medições (FIG. 11C) de um sensor para seu sensor vizinho sobre o domínio de frequência, como mostrado na FIG. 11D. Os gráficos de frequência determinam a natureza do efeito dinâmico por sua amplitude, oscilação, e duração. Um sistema perfeitamente homogêneo não apresentaria quaisquer picos. Este objetivo é conseguido através da mudança de parâmetros de entrada (como mostrado na FIG. 11E) ou através de outros métodos de autoestabilização ao longo da coluna. Uma vez identificado um modo de dinâmica destrutiva, as técnicas de estabilização/compensação podem ser aplicadas.

Aspectos da invenção podem compreender sistemas de estabilização/compensação de coluna de perfuração 12 para corrigir condições dinâmicas indesejáveis. Como conhecido na técnica, vibrações em uma massa rotativa podem ser compensadas mediante a aplicação de pesos. De maneira similar, aspectos da invenção podem ser implementados com um sistema de mudança de massa multipontos. A FIG. 12A mostra uma coluna de perfuração 12 equipada com uma pluralidade de sensores 40, montados sobre nós 30 e/ou sobre ferramentas e tubos ao longo da coluna. O aspecto na FIG. 12A também é configurado com conexões envolvendo pesos rotativos 80 distribuídos ao longo da coluna 12.

A FIG. 12B é uma vista explodida de um dispositivo de peso rotativo 80. O dispositivo de peso rotativo 80 inclui uma massa mutável 82, um mecanismo de acionamento 84, e eletrônica 86 apropriada. Entrada de sensor(es) 40 é usada para identificar a movimentação da coluna (12, na FIG. 12A), indicando onde a coluna está se movendo para uma direção média de impacto contra a parede de furo de sondagem. A eletrônica 86 atua o

mecanismo de acionamento 84 para ativar a massa excêntrica 82 para contrabalançar harmônicos destrutivos. Em um aspecto, a massa 82 é configurada para girar (sincronizada com, ou em relação à rotação da coluna 12), até ser ativada. O mecanismo de acionamento 84 pode ser configurado para parar ou "frear" a massa rotativa 82 por x milissegundos em intervalos programados para contrabalançar a movimentação da coluna levando a impacto destrutivo. Componentes convencionais e eletrônica podem ser usados para implementar modos de realização da invenção com dispositivos de peso rotativos 80. Aspectos podem ser configurados com mais de um mecanismo de acionamento 84 (por exemplo, acima-abaixo da massa 82). Outros aspectos podem ser configurados com dispositivos de contrapeso de turbina, eletromagnéticos, hidrodinâmicos ou de outros tipos (não mostrado). O dispositivo de peso rotativo 80 é disposto, preferencialmente, no interior da conexão de tubo. Entretanto, aspectos podem compreender dispositivos montados no exterior da tubulação ou embutidos dentro das paredes do tubo (não mostrado). A coluna 12, em comunicação de sinal ao longo da rede 46, permite monitorar o desempenho de coluna, da superfície, em tempo real, e tomar as medidas adequadas, como desejado. Estabilização automática e autônoma pode ser implementada por meio de programação apropriada de processadores de sistema na coluna 12, na superfície, ou em combinação.

Vantagens providas pelas técnicas apresentadas incluem, sem limitação, a aquisição de medições distribuídas de furo abaixo em tempo real, análise dinâmica de coluna de perfuração, ajuste manual/automático de condições de pressão/fluxo de furo abaixo, compensação/estabilização manual/automática de dinâmica destrutiva, implementação de operações de coluna de perfuração automáticas e autônomas, análise/ajuste de densidade de fluido do furo de poço em tempo real para perfuração de gradiente duplo melhorada, etc. Será apreciado por aqueles experientes na técnica, que as técnicas aqui apresentadas podem ser totalmente automatizadas/autônomas

via software configurado com algoritmos, como descrito neste documento. Estes aspectos podem ser implementados através da programação de um ou mais computadores de uso geral apropriados tendo hardware adequado. A programação pode ser executada através do uso de um ou mais dispositivos de armazenamento de programa legível pelo processador(es) e pela codificação de um ou mais programas de instruções executáveis pelo computador para executar as operações aqui descritas. O dispositivo de armazenamento de programa pode assumir a forma de, por exemplo, um ou mais disquetes, um CD-ROM ou outro disco ótico, uma fita magnética, um chip de memória somente de leitura (ROM), e outras formas do gênero bem conhecidas na técnica ou desenvolvidas posteriormente. O programa de instruções pode ser em "código de objeto", isto é, em formato binário que é executável mais ou menos diretamente pelo computador, em "código de fonte", que requer compilação ou interpretação antes da execução, ou em alguma forma, como código parcialmente compilado. As formas precisas do dispositivo de armazenamento de programa e da codificação de instruções são irrelevantes aqui. Aspectos da invenção também podem ser configurados para executar as funções de computação/automação descritas de furo abaixo (via hardware/software apropriados implementados na rede/coluna), na superfície, em combinação, e/ou remotamente via enlaces sem fios presos à rede, 46.

Embora a presente apresentação descreva aspectos específicos da invenção, numerosas modificações e variações se tornarão aparentes para aqueles experientes na técnica após estudar a apresentação, incluindo a utilização de substitutos equivalentes funcionais e/ou estruturais para os elementos aqui descritos. Por exemplo, aspectos da invenção também pode ser implementados para operação em combinação com outros sistemas de telemetria conhecidos (por exemplo, sistemas de pulso de lama, fibra óptica, cabo de perfuração, etc.). As técnicas apresentadas não estão limitadas a um determinado tipo de meio de transporte ou operação subterrânea. Por

exemplo, aspectos da invenção são bastante apropriados para operações como LWD/MWD, perfilagem durante o percurso, operações marinhas, etc. Todas essas variações similares, aparentes para aqueles experientes na técnica, são consideradas como abrangidas pelo escopo da invenção, tal como definido

5 pelas reivindicações anexas.

REIVINDICAÇÕES

1. Método de monitoramento das condições de furo abaixo em um furo de sondagem penetrando uma formação subterrânea, caracterizado pelo fato de compreender:

5 dispor uma coluna de tubulares conectados no furo de sondagem, a coluna de tubulares formando uma rede eletromagnética de furo abaixo que provê um trajeto de sinal eletromagnético;

 receber dados de sensor através da rede eletromagnética de furo abaixo;

10 criar uma inferência sobre uma condição de furo abaixo dos dados de sensor; e

 ajustar seletivamente pelo menos um parâmetro afetando a condição de furo abaixo com base na inferência.

2. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que ajustar seletivamente o pelo menos um parâmetro compreende ajustá-lo seletivamente até que a condição de furo abaixo coincida com uma condição de furo abaixo alvo dentro de uma tolerância estabelecida.

3. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que ajustar seletivamente o pelo menos um parâmetro compreende comandar seletivamente pelo menos um dispositivo de furo abaixo através da rede eletromagnética de furo abaixo para ajustar o pelo menos um parâmetro.

4. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que ajustar seletivamente o pelo menos um parâmetro compreende ajustar seletivamente o pelo menos um parâmetro de fora do furo de sondagem.

5. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que receber os dados de sensor compreende receber dados de sensor de um ou mais primeiros sensores configurados para medir condições de furo abaixo susceptíveis a mudar substancialmente ao longo do tempo.

6. Método de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelo fato de que receber dados de sensor compreende receber, adicionalmente, dados de um ou mais segundos sensores configurados para medir a profundidade da coluna de tubulares conectados no furo de sondagem quando as condições de furo abaixo são medidas.

7. Método de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de que criar uma inferência sobre a condição de furo abaixo compreende correlacionar a porção dos dados de sensores de um ou mais primeiros sensores à porção dos dados de sensores de a um ou mais segundos sensores.

8. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que receber dados de sensor compreende receber dados de sensor de um ou mais sensores de pressão dispostos em diferentes posições ao longo da coluna de tubulares conectados.

9. Método de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelo fato de que criar uma inferência sobre a condição de furo abaixo compreende gerar uma curva de gradiente de pressão usando os dados de sensor.

10. Método de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que ajustar seletivamente o pelo menos um parâmetro compreende ajustar o pelo menos um parâmetro se a curva de gradiente de pressão não coincidir com um gradiente de pressão alvo dentro de uma tolerância definida.

11. Método de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo fato de que ajustar seletivamente o pelo menos um parâmetro compreende ajustar a distribuição de pressão ao longo do furo de sondagem para alterar a densidade aparente de circulação equivalente.

12. Método de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo fato de que ajustar seletivamente o pelo menos um parâmetro compreende um dentre (i) ativar e controlar um ou mais restritores variáveis de fluxo para restringir o fluxo de um segmento anular entre o furo de

sondagem e a coluna de tubulares se a pressão no fundo do furo de sondagem for menor do que uma pressão alvo de fundo e (ii) ativar e controlar um ou mais restritores variáveis de fluxo para restringir o fluxo no interior de um furo da coluna de tubulares se a pressão no fundo do furo de sondagem for maior do que uma pressão alvo de fundo.

13. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que receber dados de sensor compreende receber dados de sensor de um ou mais sensores configurados para medir condições de furo abaixo que não são susceptíveis de mudar substancialmente ao longo do tempo.

10 14. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que receber dados de sensor compreende receber informação sobre mudanças na condição de furo abaixo a uma profundidade selecionada no furo de sondagem ao longo do tempo.

15 15. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que receber dados de sensor compreende receber dados de sensor coletados por um primeiro sensor em uma primeira posição sobre a coluna de tubulares quando o primeiro sensor está a uma primeira profundidade selecionada no furo de sondagem e dados de sensor coletados por um segundo sensor em uma segunda posição sobre a coluna de tubulares quando o segundo sensor estiver na primeira profundidade selecionada, a primeira posição sendo espaçada axialmente a partir da segunda posição ao longo da coluna de tubulares.

25 16. Método de acordo com a reivindicação 15, caracterizado pelo fato dos dados de sensor coletados pelo primeiro e segundo sensores referirem-se a um perfil de calibrador do furo de sondagem na primeira profundidade selecionada.

17. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que receber dados de sensor ocorrer em intervalos de tempo selecionados.

18. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que receber dados de sensor é precedido pelo envio de um ou mais comandos para um ou mais sensores através da rede eletromagnética de furo abaixo para medir uma ou mais condições de furo abaixo.

5 19. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato da condição de furo abaixo ser a estabilidade dinâmica da coluna de tubulares.

10 20. Método de acordo com a reivindicação 19, caracterizado pelo fato de que ajustar seletivamente o pelo menos um parâmetro compreende atuar um dispositivo de contrapeso para contrabalançar harmônicos selecionados sobre a coluna de tubulares.

15 21. Método de acordo com a reivindicação 19, caracterizado pelo fato do pelo menos um parâmetro ser um parâmetro de entrada para a coluna de tubulares selecionado do grupo consistindo de vazão, peso sobre a broca, e velocidade de rotação.

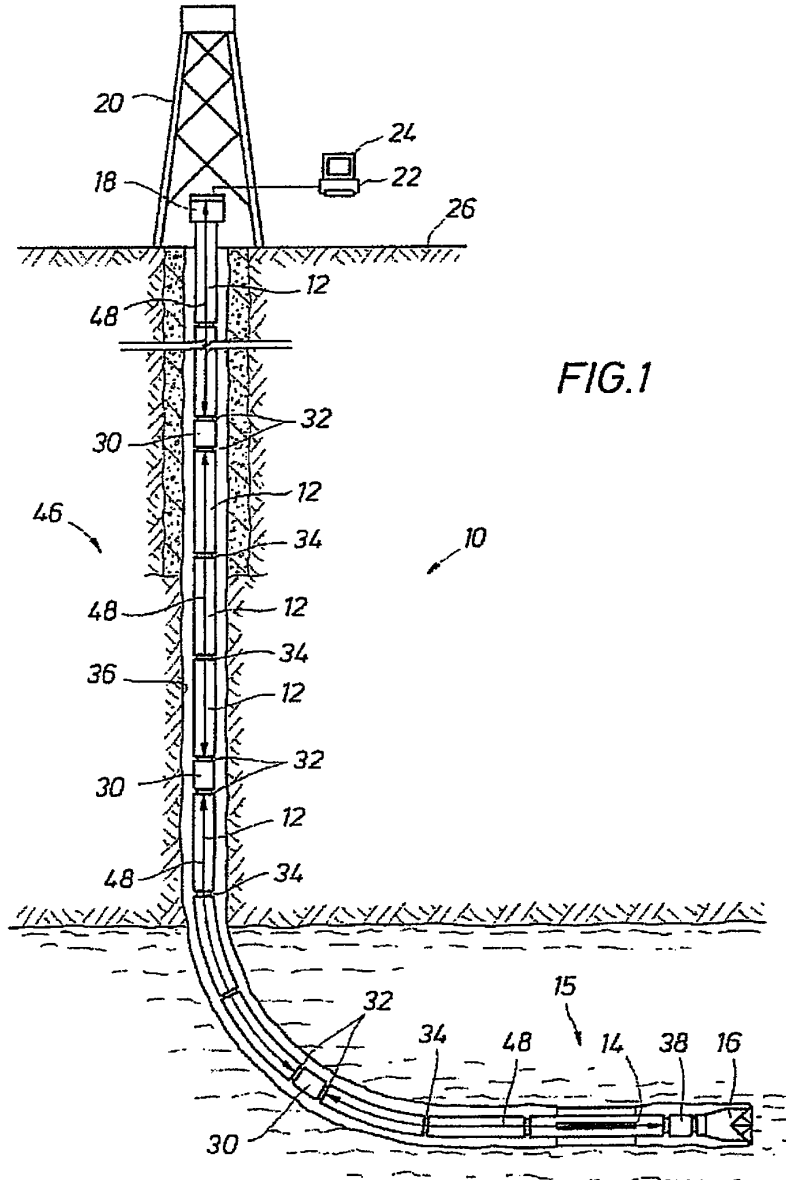


FIG.1

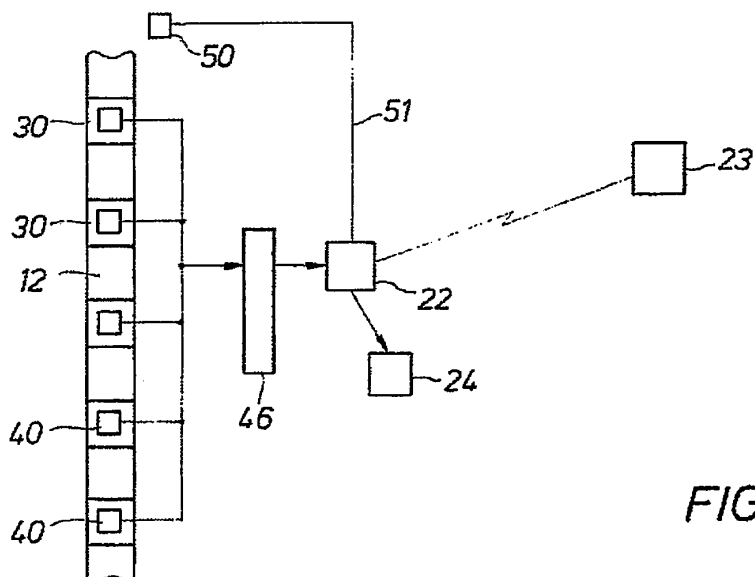
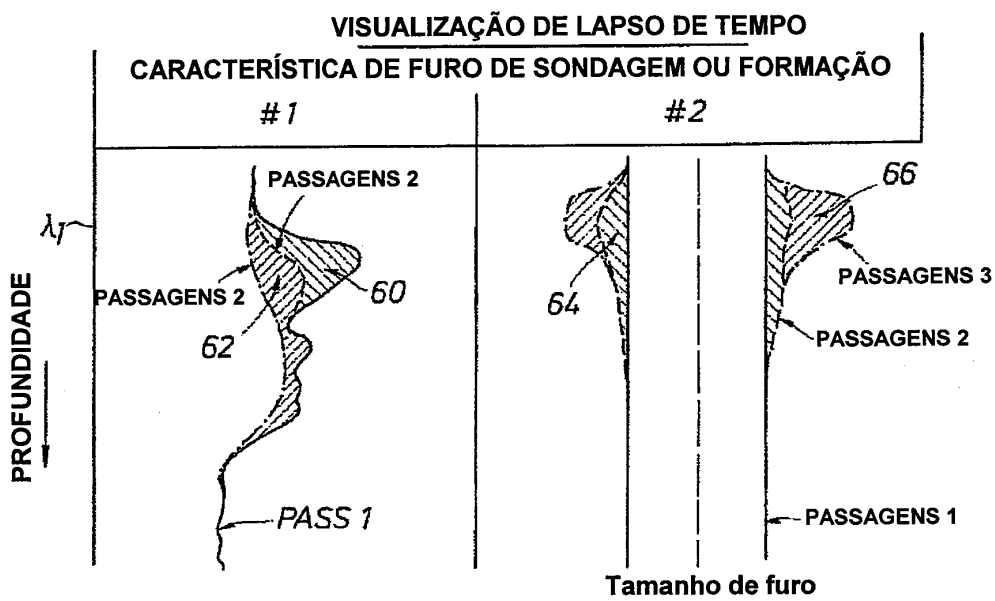


FIG.2



60 = DIFERENÇA ENTRE AS PASSAGENS 1 & 2
 62 = DIFERENÇA ENTRE AS PASSAGENS 2 & 3

FIG.3

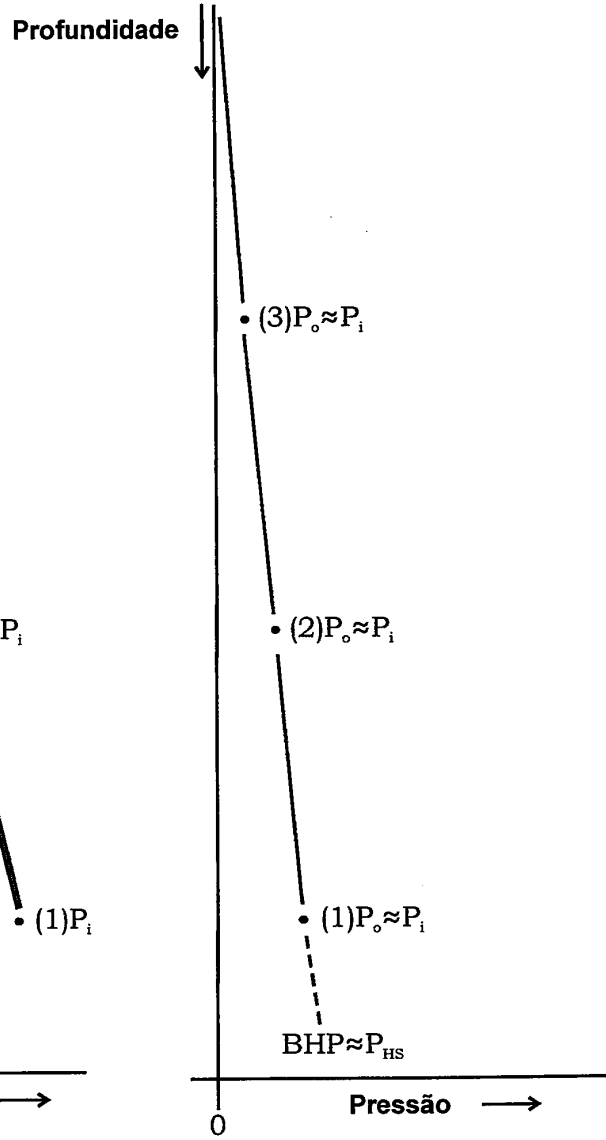
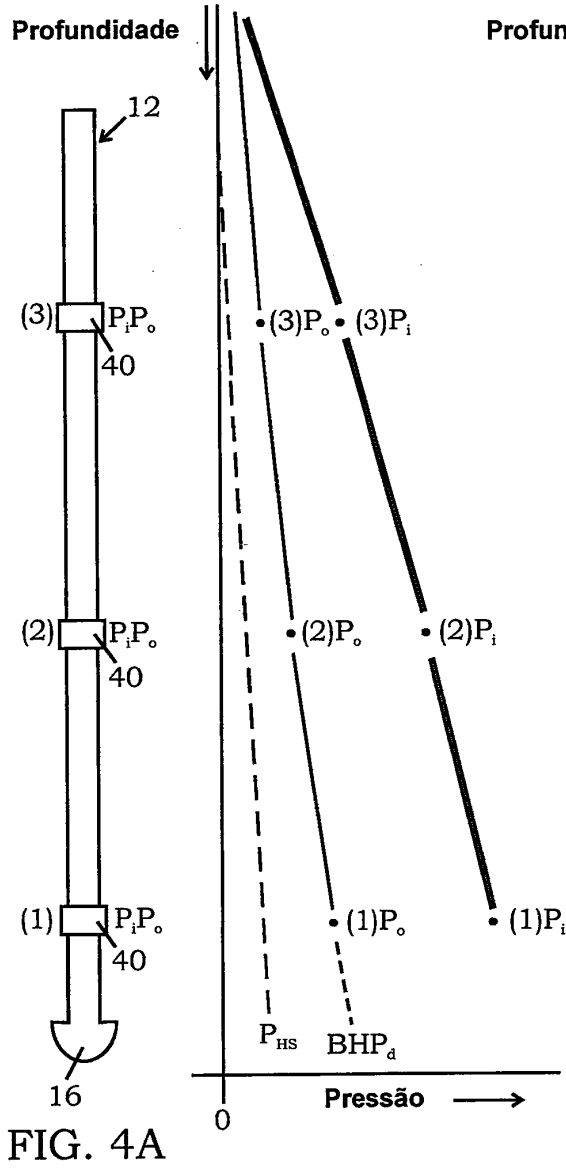


FIG. 4B

FIG. 4C

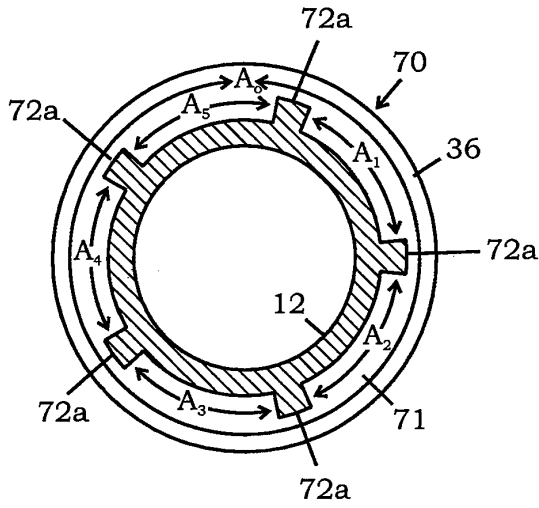


FIG. 5A

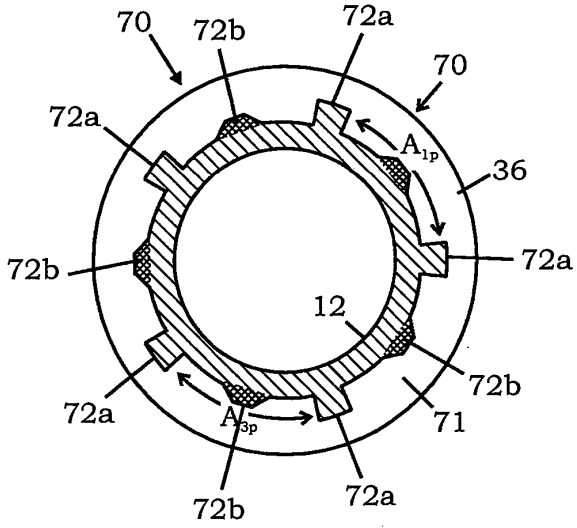


FIG. 5B

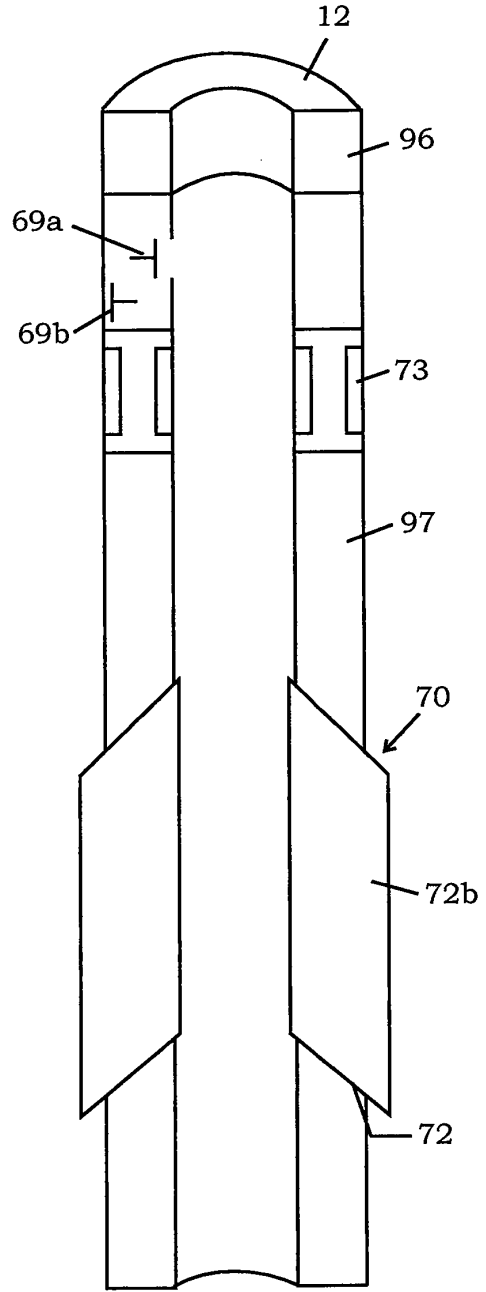
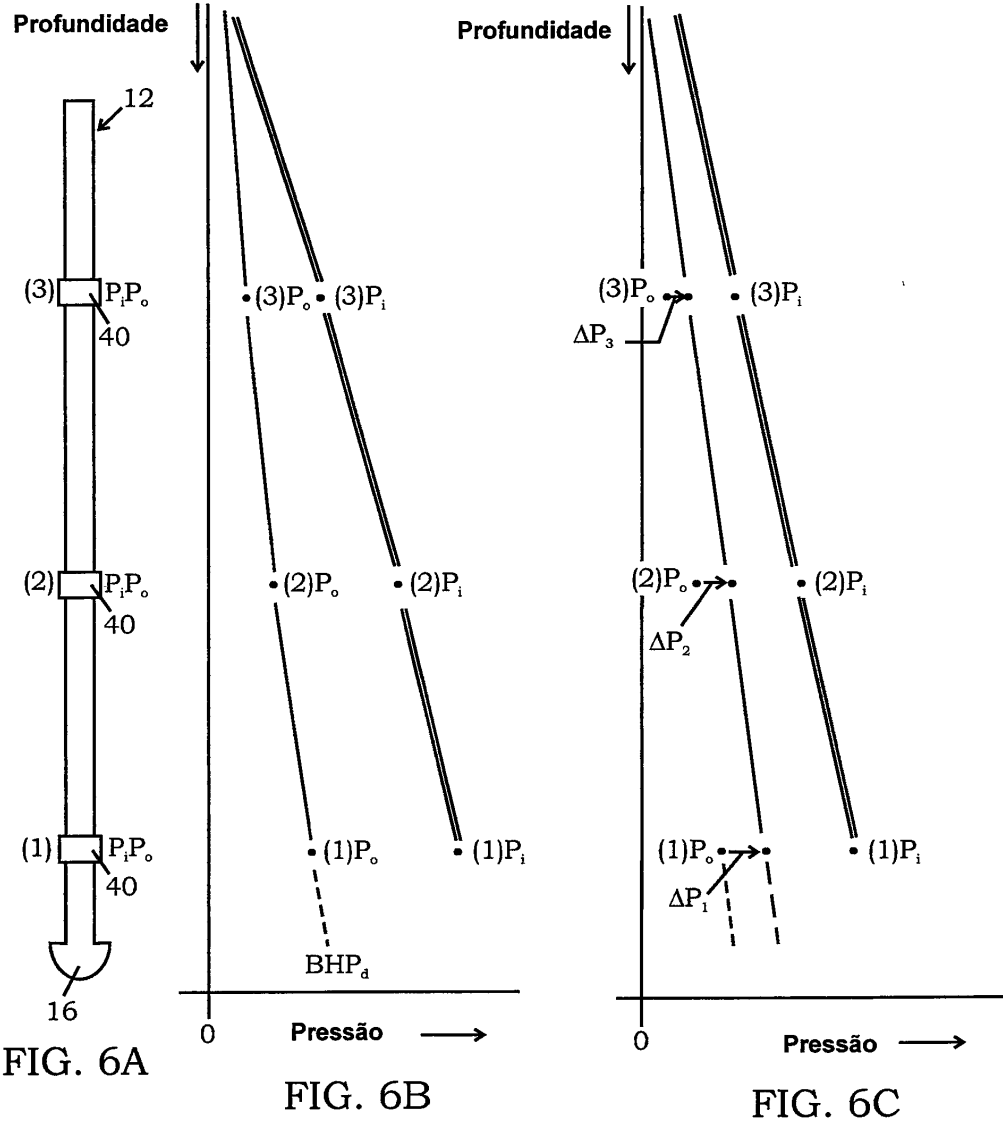


FIG. 5C



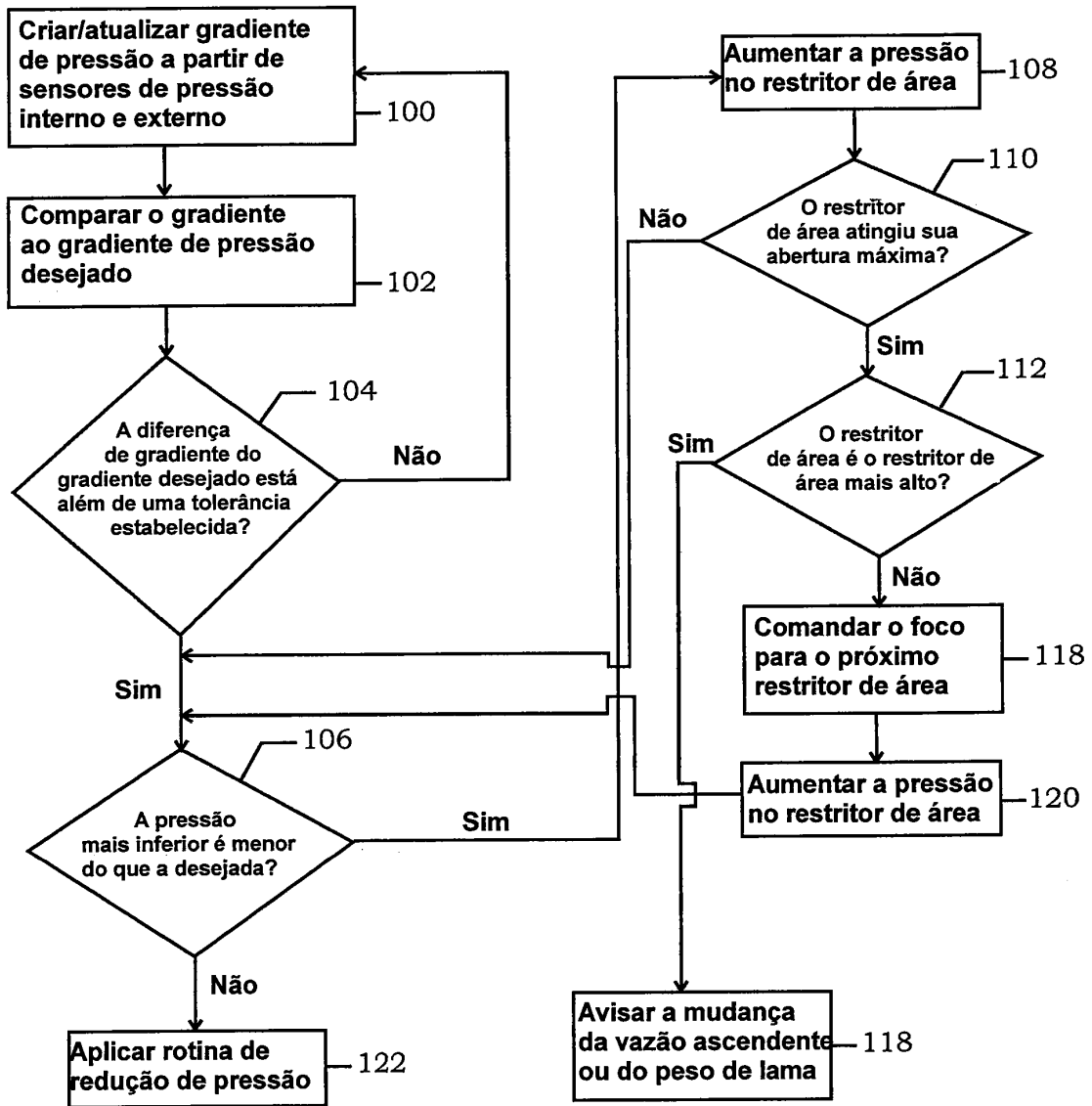


FIG. 7

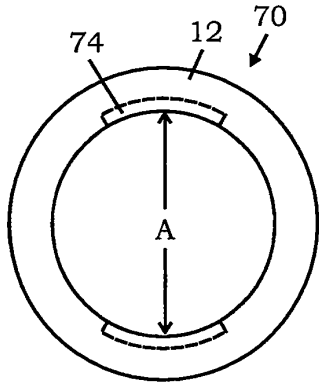


FIG. 8A

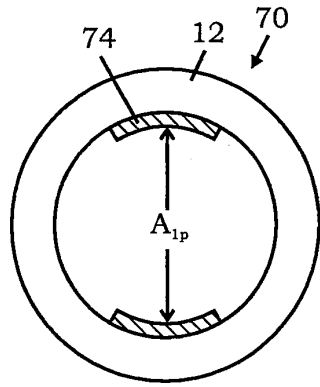


FIG. 8B

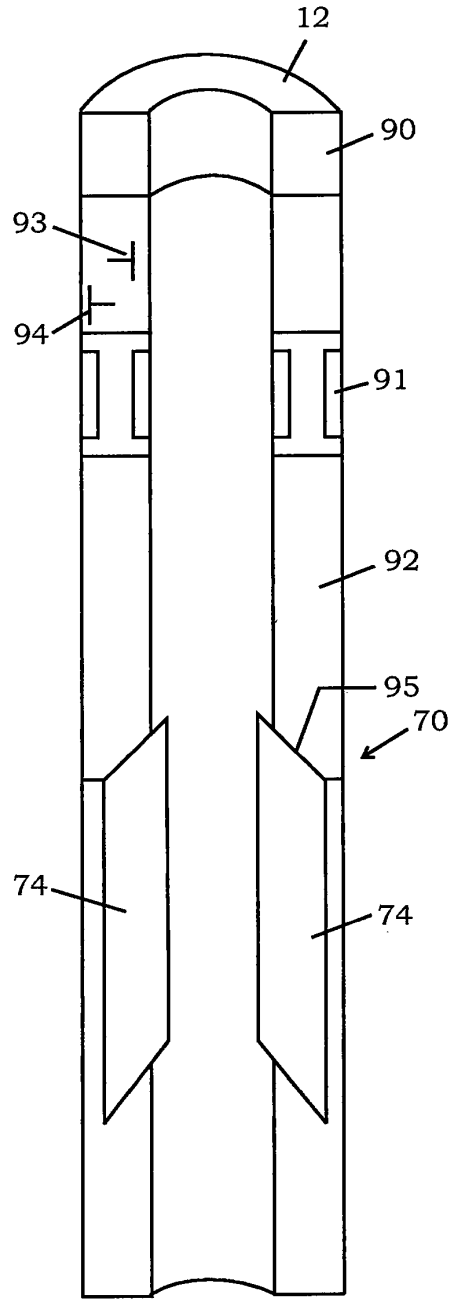


FIG. 8C

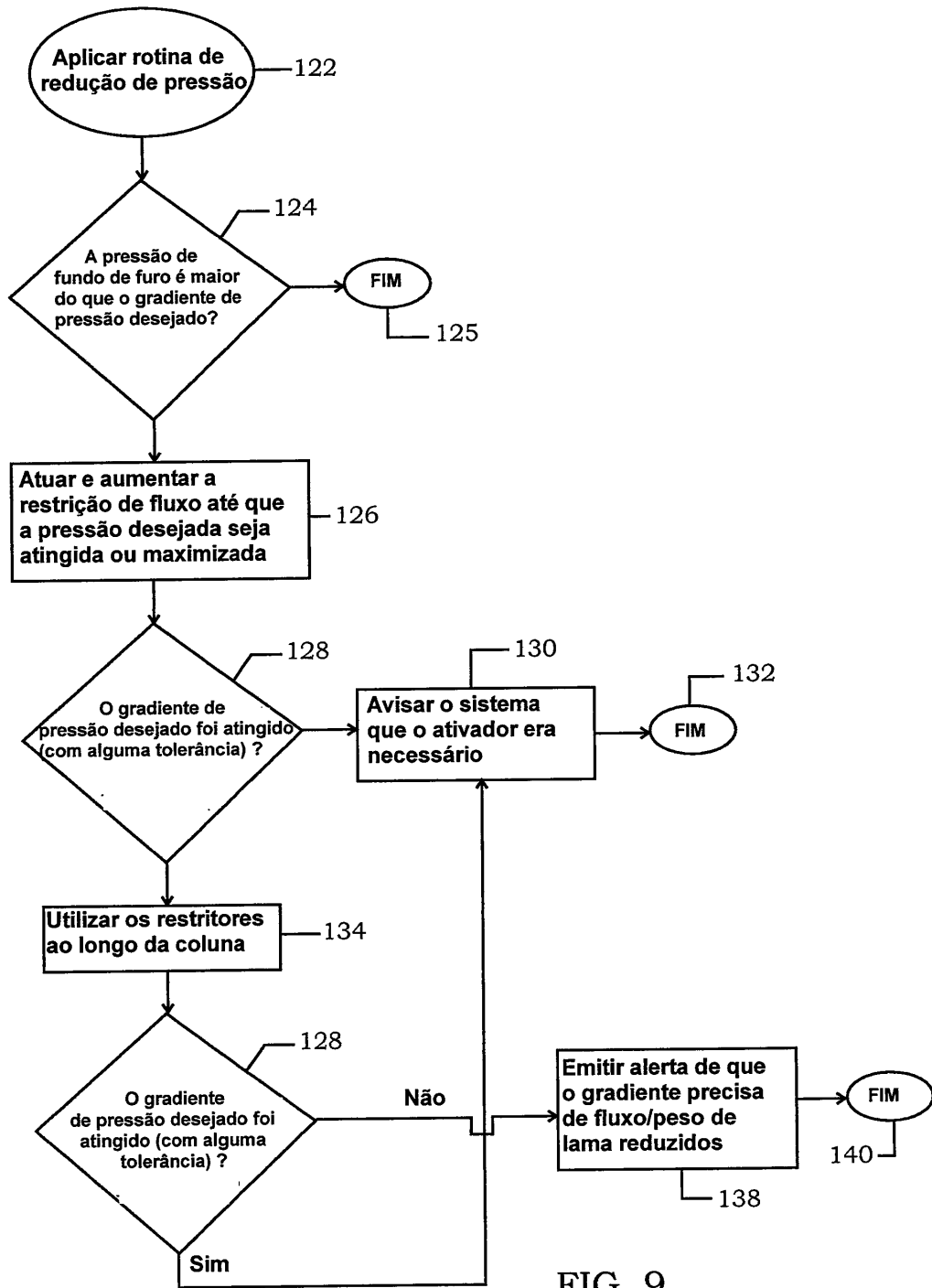


FIG. 9

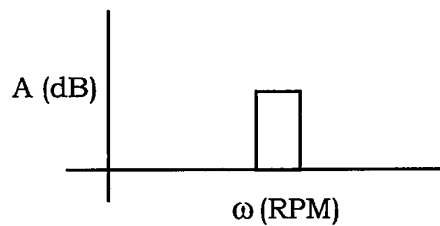


FIG. 10A

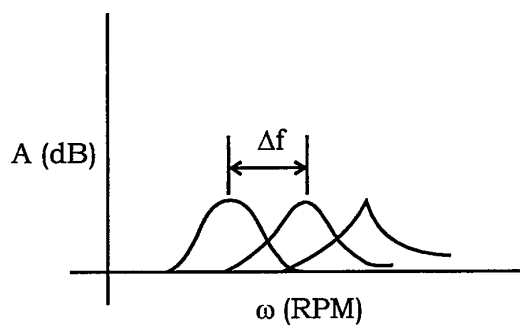


FIG. 10B

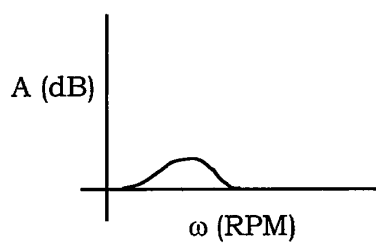


FIG. 10C

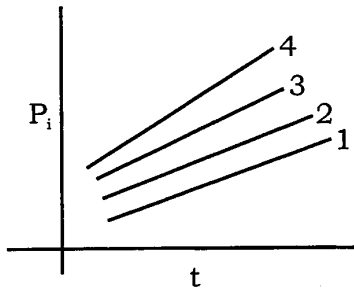


FIG. 11A

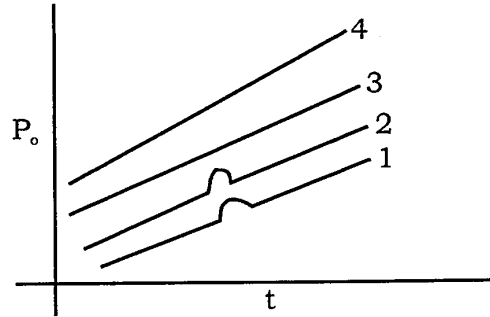


FIG. 11B

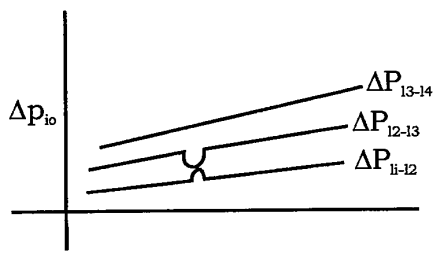


FIG. 11C

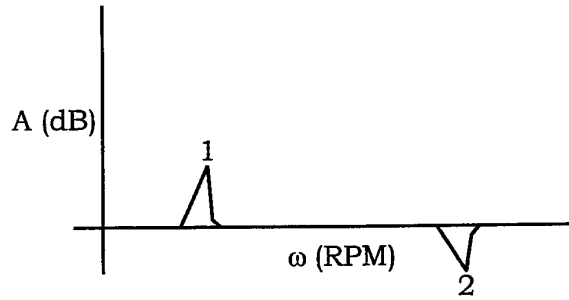


FIG. 11D

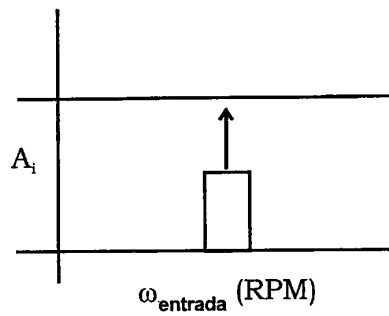


FIG. 11E

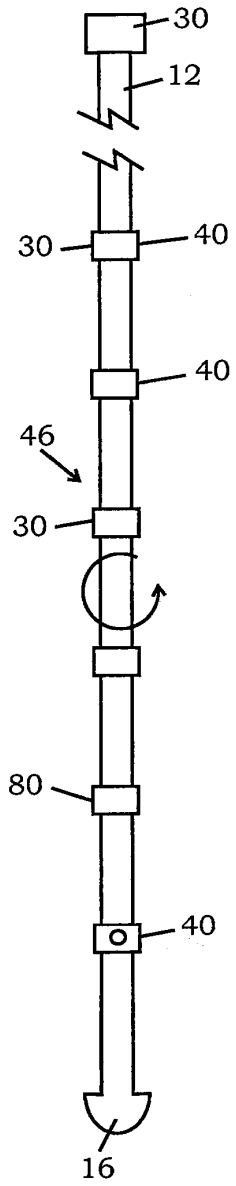


FIG. 12A

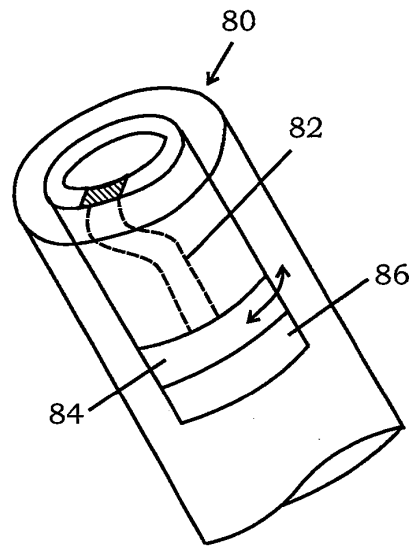


FIG. 12B

RESUMO

“MÉTODO DE MONITORAMENTO DAS CONDIÇÕES DE FURO ABAIXO EM UM FURO DE SONDAGEM PENETRANDO UMA FORMAÇÃO SUBTERRÂNEA”

5 Um método de monitoramento de condições de furo abaixo em um furo de sondagem inclui receber dados de sensor através de uma rede de nós providos em posições selecionadas sobre uma coluna de perfuração disposta no furo de sondagem. É criada uma inferência sobre a condição de furo abaixo a partir dos dados de sensor. É feita uma determinação se a
10 condição de furo abaixo se coincidir com uma condição alvo de furo abaixo com uma tolerância estabelecida. Pelo menos um parâmetro afetando a condição de furo abaixo ser ajustado seletivamente caso este não coincida com a condição alvo de furo abaixo dentro da tolerância definida.