



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

(21) PI 0720903-7 A2



(22) Data de Depósito: 06/12/2007
(43) Data da Publicação: 25/03/2014
(RPI 2255)

(51) Int.Cl.:
G06G 7/48

(54) **Título:** MÉTODOS DE MODELAR EQUIPAMENTO DE PERFURAÇÃO PARA REPRESENTAR DESEMPENHO EM VIBRAÇÃO DO EQUIPAMENTO DE PERFURAÇÃO E DE PRODUZIR HIDROCARBONETOS, E, SISTEMA DE MODELAÇÃO (57) **Resumo:**

(30) **Prioridade Unionista:** 02/02/2007 US 60/889305

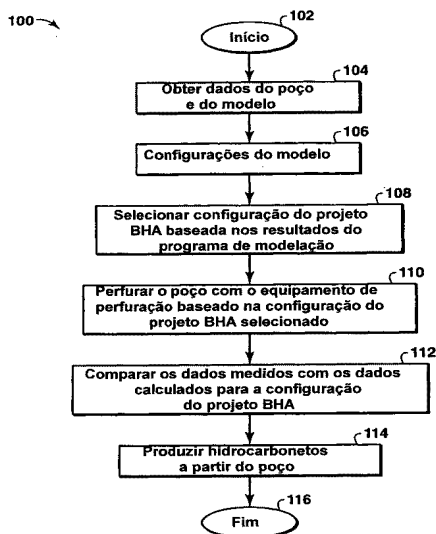
(73) **Titular(es):** Exxonmobil Upstream Research Company

(72) **Inventor(es):** Erika A. O. Biediger, Jeffrey R. Bailey, Vishwas Gupta

(74) **Procurador(es):** Momsen, Leonardos & Cia.

(86) **Pedido Internacional:** PCT US2007025017 de 06/12/2007

(87) **Publicação Internacional:** WO 2008/097303 de 14/08/2008



“MÉTODOS DE MODELAR EQUIPAMENTO DE PERFURAÇÃO PARA REPRESENTAR DESEMPENHO EM VIBRAÇÃO DO EQUIPAMENTO DE PERFURAÇÃO E DE PRODUZIR HIDROCARBONETOS, E, SISTEMA DE MODELAÇÃO”

5 PEDIDOS DE PATENTES RELACIONADAS

Este pedido reivindica os aperfeiçoamentos melhoramentos do Pedido de Patente Provisório US 60/899,305, depositado em 2 de fevereiro de 2007.

CAMPO DA INVENÇÃO

10 A presente invenção descreve um método para a modelação e planeamento de um sistema de perfuração que contribui para vibrações, que podem ser experimentadas pelo equipamento do sistema de perfuração. Em particular, a presente invenção descreve a modelação de um conjunto de mecanismos do furo de fundo de poço (BHAs) para melhorar a velocidade de
15 perfuração na penetração, para reduzir a falha do equipamento de furo abaixo, para aumentar a durabilidade das ferramentas correntes e/ou para melhorar o desempenho da totalidade da perfuração. A modelação dos BHAs pode ser utilizada para aumentar a recuperação de hidrocarbonetos perfurando mais eficazmente os poços.

20 ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

Esta seção destina-se a introduzir vários aspectos da técnica, que pode estar associada a formas de realização exemplificativas das presentes técnicas. Acredita-se que esta discussão pode ajudar a prover informação que facilite uma melhor compreensão dos aspectos particulares
25 das presentes técnicas. Consequentemente, deverá ser entendido que esta seção deve ser lida com este espírito e não necessariamente como admissões da técnica anterior.

Há já alguns anos que tem vindo a ser realizada a produção dos hidrocarbonetos, como por exemplo o petróleo e o gás. Para produzir

estes hidrocarbonetos, geralmente são perfurados um ou mais poços num campo em posições subterrâneas, que são geralmente referidos como formações da subsuperfície ou bacias. Os poços são formados para prover vias de fluxo de fluido desde lugares subterrâneos até à superfície através de operações de perfuração. As operações de perfuração habitualmente incluem a utilização de uma plataforma perfuração acoplada a uma coluna de perfuração e conjunto de mecanismos do furo de fundo de poço (BHA), que podem incluir uma broca de perfuração, colares de perfuração, estabilizadores, equipamento de medição enquanto perfura (MWD), sistemas direcionais rotativos (RSS), ferramentas de abertura e alargamento do furo, brocas bi-centro, cilindros alargadores, conexões de choque, conexões de flutuação, conexões de broca, tubos de perfuração pesados, e outros componentes conhecidos dos técnicos especializados. Assim que as operações de perfuração estejam completas, os fluidos produzidos, como por exemplo os hidrocarbonetos, são processados e/ou transportados para os locais de entrega.

Durante as operações de perfuração, vários limitadores podem ser obstáculos à velocidade de penetração (ROP). Por exemplo, as vibrações durante as operações de perfuração têm sido identificadas como um fator que limita o ROP. Estas vibrações podem incluir vibrações laterais axiais e de torção. As vibrações axiais dão-se como o resultado das interações da broca/rocha com a coluna de perfuração longitudinal dinâmica, e deste modo estas podem-se propagar à superfície ou podem ser amortecidas pelo contato com o poço. Igualmente as vibrações de torção podem envolver flutuações no momento de torção na broca e propagação subsequente para a superfície do furo como uma perturbação no movimento rotativo da coluna de perfuração. As vibrações laterais BHA envolvem também uma viga curva de modo dinâmico ao tubo rígido perto da broca e estas vibrações habitualmente não se propagam diretamente na superfície. No entanto, as vibrações laterais acoplar-se às vibrações axiais e de torção e conseqüentemente serem experimentadas

à superfície. Alguns autores identificaram as vibrações laterais como o modo mais destrutivo do equipamento de perfuração. A identificação dos diferentes tipos e amplitudes das vibrações podem ser providas por sensores no furo de fundo de poço no equipamento MWD para prover a leitura à superfície das vibrações do furo de fundo de poço ou dos dados guardados que podem ser descarregados à superfície depois de que a "brocagem" ou o intervalo de perfuração esteja completo.

Como as operações de perfuração são caras, os processos para otimizar as operações de perfuração baseadas na remoção ou redução dos limitadores afundados podem ser vantajosos, como por exemplo as vibrações. Como um exemplo, os BHAs habitualmente são utilizados nas operações de perfuração baseados nos desenhos das companhias de serviços, práticas de funcionamento locais e/ou métodos históricos anteriores, que muitas vezes conduzem a resultados aleatórios no desempenho da perfuração. Devido a que as vibrações podem influenciar a durabilidade do equipamento, a falha no furo de fundo de poço de um BHA pode ser cara e aumentar significativamente os custos da perfuração de um poço. Efetivamente, os custos das falhas BHA podem incluir o equipamento de substituição e o tempo adicional para um trajeto de ida e volta da coluna de perfuração na eventualidade de desmoronamento (por exemplo perda de pressão da haste de perfuração) sem separação da coluna de perfuração. Adicionalmente à composição destes custos, as secções do poço podem ser danificadas, o que poderá resultar em desvios à volta das secções danificadas do poço.

Consequentemente, ferramentas de desenho (por exemplo aplicações de software e programas de modelação) podem ser utilizadas para examinar o efeito das vibrações na perfuração de um poço. Por exemplo, os programas de modelação podem representar as interações da força estática no BHA como função da colocação do estabilizador. Apesar de ter havido muitas tentativas para modelar um BHA dinâmico, existe a necessidade de

ferramentas desenhadas com base num modelo para configurar desenhos BHA para avaliar os efeitos da vibração como os descritos na presente invenção.

Nas várias referências citadas neste Pedido de Patente, existem
5 modelos do domínio da frequência assim como modelos do domínio do tempo dos conjuntos de perfuração. Devido ao interesse nos cálculos da força direta para o desenho da broca e o aumento rápido da capacidade computacional, a atividade recente tem focado a utilização direta das simulações do domínio
10 do tempo e o método dos elementos finitos, incluindo os processos bidimensionais e os tridimensionais. No entanto, estas simulações requerem ainda um tempo considerável de cálculo, e consequentemente o número de casos que na prática podem ser considerados são limitados. O método dos elementos finitos tem sido ainda utilizado para os modelos do domínio das frequências, em que o processo básico é o de considerar o problema do valor
15 próprio a resolver para as frequências críticas e formas de modo. Unicamente um par de referências utilizaram o processo da resposta da frequência forçada, e estes autores escolheram formulações de modelos diferentes das que serão discutidos neste documento, incluindo uma seleção diferente das limitações. Uma referência utilizou uma condição idêntica no intervalo de um modelo de
20 elementos finitos, mas uma limitação diferente foi especificada no topo do conjunto de mecanismos do furo de fundo de poço . Esta referência é apenas para desenvolver os métodos e procedimentos de desenho descritos neste documento.

A técnica anterior não provê ferramentas para suportar um
25 processo de desenho como o descrito na presente invenção (isto é, a caracterização comparativa direta do comportamento da vibração da perfuração para inumeráveis combinações de velocidades de rotação e peso na broca), e não existem referências dos índices de desenho ou figuras de mérito para facilitar a comparação dos comportamentos de desenhos de conjuntos

diferentes. Consequentemente, há a necessidade deste tipo de ferramentas de software e métricas de desenho para melhorar o desenho das configurações do conjunto de mecanismos do furo de fundo de poço para reduzir as vibrações de perfuração.

5 Outros artigos relacionados podem ser encontrados em:

G. Heisig et al., "Lateral Drillstring Vibrations in Extended-Reach Wells", SPE 59235, 2000;

P.C. Kriesels et al., "Cost Savings through an Integrated Approach to Drillstring Vibration Control", SPE/IADC 57555, 1999;

10 D. Dashevskiy et al., "Application of Neural Networks for Predictive Control in Drilling Dynamics", SPE 56442, 1999;

A.S. Yigit et al., "Mode Localization May Explain Some of BHA Failures", SPE 39267, 1997;

15 M.W. Dykstra et al., "Drillstring Component Mass Imbalance: A Major Source of Downhole Vibrations", SPE 29350, 1996;

J. W. Nicholson, "An Integrated Approach to Drilling Dynamics Planning, Identification, and Control", SPE/IADC 27537, 1994;

20 P.D. Spanos & M.L. Payne, "Advances in Dynamic Bottomhole Assembly Modeling and Dynamic Response Determination", SPE/IADC 23905, 1992;

M.C. Apostai et al., "A Study to Determine the Effect of Damping on Finite-Element- Based, Forced Frequency-Response Models for Bottomhole Assembly Vibration Analysis", SPE 20458, 1990;

25 F. Clayer et al., "The Effect of Surface and Downhole Boundary Conditions on the Vibration of Drillstrings", SPE 20447, 1990;

D. Dareing, "Drill Collar Length is a Major Factor in Vibration Control", SPE 11228, 1984;

A. A. Besaisow, et al., "Development of a Surface Drillstring Vibration Measurement System", SPE 14327, 1985;

M. L. Payne, "Drilling Bottom-Hole Assembly Dynamics", Ph.D. Thesis, Rice University, May 1992;

A. Besaisow & M. Payne, "A Study of Excitation Mechanisms and Resonances Inducing Bottomhole-Assembly Vibrations", SPE 15560, 1988; e

Pedido de Patente norte-americana No. U. S. 6,785,641.

Ainda, como parte de um sistema de modelação desenvolvido por ExxonMobil, um índice de desempenho foi utilizado para prover a orientação aos desenhos BHA individuais. Um modelo dinâmico de resposta de frequência forçada em estado de equilíbrio foi desenvolvido para analisar um único BHA no modo de lote a partir de uma interface de linha de comandos, utilizando os arquivos do texto de saída para processamento posterior gráfico utilizando uma ferramenta de software externa, como por exemplo o Microsoft ExcelTM. A utilização deste método é difícil, e as limitações da interface impediram a sua aplicação. Desde 1992 que nos Estados Unidos este modelo tem sido utilizado nalgumas aplicações comerciais para colocar os estabilizadores para reduzir os níveis de vibração previstos, tanto no sentido total como especificamente dentro das margens de velocidade rotativa projetada. Este modelo provê um índice de curvatura de ponto final para uma configuração de um único BHA. No entanto, ele não provê resultados ao mesmo tempo para duas ou mais configurações BHA.

Consequentemente, existe a necessidade de uma ferramenta de desenho BHA para caracterizar o desempenho da vibração dos desenhos BHA alternativos e para apresentar estes resultados como desenhos de comparação e para selecionar uma configuração de desenho específica. É ainda necessário um método para aplicar limitações de excitação e parâmetros de funcionamento substancialmente idênticos para todas as configurações de desenho BHA, para calcular os resultados do modelo, e seguidamente exibir os resultados nos mesmos gráficos com uma escala idêntica. Para comparar as

configurações de desenho BHA, é necessário conjuntos de métricas e algoritmos para facilitar o processo de comparação e, com os modelos estáticos e dinâmicos da vibração subjacentes prover os diagnósticos úteis auxiliares nos processos de seleção e de re-desenho.

5 SUMRIO DA INVENÇÃO

10 Numa forma de realizar a invenção, é descrito um método de modulação de um equipamento de perfuração. O método inclui a construção de duas ou mais configurações de desenho, em que cada uma das configurações de desenho representa pelo menos uma parte do conjunto de mecanismos do furo de fundo de poço (BHA); o cálculo dos resultados a partir de cada uma das duas ou mais configurações de desenho; a exibição simultânea dos resultados calculados de cada uma das duas ou mais configurações de desenho.

15 Numa segunda forma de realizar a invenção é descrito um método de modelação do equipamento de perfuração. O método inclui a construção de pelo menos uma configuração de desenho que representa uma parte do conjunto de mecanismos do furo de fundo de poço (BHA); o cálculo de um ou mais índices de desempenho que caracterizam o desempenho da vibração BHA de pelo menos uma configuração de desenho, em que um ou
20 mais índices de desempenho compreendem um índice de curvatura do ponto final, um índice de energia da deformação BHA, o índice médio de energia da deformação transmitida, um índice de energia da deformação transmitida, um índice da força lateral BHA do valor quadrático médio, um índice do momento de torção BHA do valor quadrático médio, um índice da força
25 lateral BHA total, um índice do momento de torção BHA total, e qualquer combinação matemática destes índices; e a exibição de um ou mais índices de desempenho calculados para pelo menos uma configuração de desenho.

Numa terceira forma de realizar a invenção, é descrito um método para a produção de hidrocarbonetos. O método inclui prover uma

configuração de desenho de um conjunto de mecanismos do furo de fundo de poço selecionada da modelação simultânea de duas ou mais configurações de desenho do conjunto de mecanismos do furo de fundo de poço ; da perfuração de um poço numa formação da subsuperfície com um equipamento de perfuração baseado na configuração de desenho do conjunto de mecanismos do furo de fundo de poço selecionada; a colocação de uma completação de poço no poço; e a produção de hidrocarbonetos a partir da formação da subsuperfície.

10 Numa quarta forma de realizar a invenção é descrito um sistema de modelação. O sistema de modelação inclui um processador; uma memória acoplada ao processador; e um conjunto instruções legíveis por computador acessíveis ao processador. O conjunto de instruções legíveis por computador estão configuradas para pelo menos construir duas configurações de desenho, em que pelo menos cada uma das duas configurações de desenho
15 representam uma parte do conjunto de mecanismos do furo de fundo de poço ; o cálculo dos resultados de cada uma de pelo menos duas configurações de desenho; a exibição em simultâneo dos resultados calculados de cada uma de pelo menos duas configurações de desenho.

20 Numa quinta forma de realizar a invenção é descrito um método para a produção de hidrocarbonetos. O método inclui prover a configuração de desenho do conjunto de mecanismos do furo de fundo de poço selecionada a partir da modelação de um ou mais índices de desempenho que caracterizam o desempenho da vibração BHA da configuração de desenho do conjunto de mecanismos do furo de fundo de
25 poço , em que um ou mais índices de desempenho compreendem um índice de curvatura do ponto final, um índice de energia da deformação BHA, o índice de energia da deformação transmitida médio, um índice de energia da deformação transmitida, um índice da força lateral BHA do valor quadrático médio, um índice do momento de torção BHA do valor quadrático médio, um

índice da força lateral BHA total, um índice do momento de torção BHA total, e qualquer combinação matemática destes índices; a perfuração de um poço numa formação da subsuperfície com equipamento de perfuração baseado na configuração de desenho do conjunto de mecanismos do furo de fundo de poço ; a colocação de uma completação de poço no poço; e a produção de hidrocarbonetos a partir da formação da subsuperfície.

Numa ou mais formas de realizar a invenção anteriormente referidas, podem ser utilizadas características adicionais. Por exemplo, os métodos ou as instruções legíveis por computador podem também incluir a verificação de duas ou mais configurações de desenho exibindo graficamente duas ou mais configurações de desenho simultaneamente, selecionando uma das duas ou mais configurações de desenho baseadas nos resultados calculados, na identificação dos parâmetros de funcionamento e limitações; e comparando os valores variáveis de estado nos resultados para duas ou mais configurações de desenho, em que duas ou mais configurações de desenho são submetidas a uma excitação do sistema substancialmente idêntica. Também, a construção das duas ou mais configurações de desenho podem incluir a construção de dois ou mais desenhos gráficos; a associação dos parâmetros e limitações funcionamento com dois ou mais desenhos gráficos; e a associação dos parâmetros do equipamento com cada um dos dois ou mais desenhos gráficos para criar duas ou mais configurações de desenho. Estes parâmetros e limitações de funcionamento aplicados a cada uma das duas ou mais configurações de desenho são substancialmente os mesmos ou são diferentes. Os parâmetros e limitações de funcionamento podem incluir um primeiro conjunto de modelação e um segundo conjunto de modelação, o primeiro conjunto de parâmetros e limitações de funcionamento é utilizado para modelar pelo menos uma curva estática, uma curva lateral dinâmica e uma rotação excêntrica e o segundo conjunto de parâmetros e limitações de funcionamento é utilizado para modelar outra curva estática, outra curva

lateral dinâmica e outra rotação excêntrica.

O cálculo dos resultados para duas ou mais configurações de desenho pode ainda incluir a criação de um modelo matemático para cada uma das duas ou mais configurações de desenho; o cálculo dos resultados do modelo matemático para os parâmetros e limitações de funcionamento específicos; a identificação dos deslocamentos, o ângulo de inclinação, o momento de flexão, e força de corte da viga a partir dos resultados do modelo matemático; e determinando os vetores de estado e as matrizes de estado a partir da saída dos dados identificados no modelo matemático. Os resultados do modelo podem ser baseados num modelo de elementos finitos bidimensionais ou tridimensionais a partir do qual são identificados os vetores de estado e matrizes de estado. Além de que, o cálculo dos resultados de cada uma das duas ou mais configurações de desenho podem incluir a criação de um modelo de parâmetros concentrados de cada uma das duas ou mais configurações de desenho, em que o modelo de parâmetros concentrados tem uma estrutura das respostas do vetor de estado e das matrizes de funções de transferência; determinação de uma função de transferência do elemento de massa e uma função de transferência do elemento da viga; e a determinação das limitações e uma excitação do sistema para gerar os resultados. Os resultados calculados podem ser exibidos como respostas tridimensionais, em que as respostas tridimensionais são rodadas baseadas no movimento de uma ou mais barras de deslocamento virtuais.

Ainda, noutras formas de realizar a invenção os resultados calculados podem incluir um ou mais índices de desempenho que caracterizam o desempenho da vibração de duas ou mais configurações de desenho. Por exemplo, um ou mais índices de desempenho podem incluir um ou mais índices de curvatura do ponto final, um índice de energia da deformação BHA, um índice de energia da deformação transmitida médio, um índice de energia da deformação transmitida, um índice da força lateral BHA

do valor quadrático médio, um índice do momento de torção BHA do valor quadrático médio, um índice da força lateral BHA total, um índice do momento de torção BHA total e qualquer combinação matemática destes índices. As várias equações para estes índices são também abaixo descritas.

5 BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

À continuação, as vantagens anteriores e outras vantagens da técnica da presente invenção serão mais evidentes com a descrição detalhada e com referência aos desenhos em que:

10 A figura 1 é um fluxograma exemplificativo de um processo de modelação e funcionamento de um sistema de perfuração de acordo com certos aspectos das técnicas da presente invenção;

A figura 2 é um fluxograma exemplificativo para modelar duas ou mais configurações de desenho BHA da figura 1 de acordo com certos aspectos das técnicas da presente invenção;

15 A figura 3 é uma forma exemplificativa de realizar a invenção de um sistema de modelação de acordo com certos aspectos das técnicas da presente invenção;

20 A figura 4 é uma vista de uma tela exemplificativa provida pelo sistema de modelação da figura 3 utilizada de acordo com alguns aspectos das técnicas da presente invenção;

As figuras de 5A a 5D são vistas de telas exemplificativas providas pelo sistema de modelação da figura 3 utilizadas num modo de projeto para construir configurações de desenho BHA de acordo com alguns aspectos das técnicas da presente invenção;

25 As figuras de 6A a 6I são vistas de telas exemplificativas providas pelo sistema de modelação da figura 3 utilizadas num modo de projeto para simultaneamente exibirem as configurações de desenho BHA construído de acordo com alguns aspectos das técnicas da presente invenção;

As figuras 7A e 7B são vistas de telas exemplificativas

providas pelo sistema de modelação da figura 3 utilizadas num modo de projeto para exibir uma única configuração de desenho BHA construída de acordo com alguns aspectos das técnicas da presente invenção;

5 As figuras de 8A a 8E são vistas de telas exemplificativas providas pelo sistema de modelação da figura 3 utilizadas num modo de projeto para exibir os resultados do índice de desempenho da vibração de acordo com alguns aspectos das técnicas da presente invenção; e

10 As figuras de 9A a 9D são vistas de telas exemplificativas providas pelo sistema de modelação da figura 3 utilizadas num modo de registro de acordo com alguns aspectos das técnicas da presente invenção;

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

Na seção da descrição detalhada à continuação, as formas específicas de realizar a presente invenção são descritas em relação às formas preferidas de a realizar. No entanto, o âmbito da seguinte descrição detalhada
15 é específico de uma forma particular de realizar ou uma utilização específica da invenção, deverá ser entendido que esta é apenas ilustrativa, e provê unicamente uma descrição concisa de formas exemplares de a realizar. Consequentemente, a invenção não está limitada às formas específicas de a realizar abaixo descritas, mas mais Exatamente a invenção abrange todas as
20 alternativas, modificações e equivalentes que podem ser incluídas dentro do espírito e âmbito definido pelas reivindicações anexas.

A técnica da presente invenção refere-se a um método para controlar e modelar o conjunto de mecanismos do furo de fundo de poço para avaliar, analisar e auxiliar na produção de hidrocarbonetos a partir das
25 formações da subsuperfície. Com as técnicas da presente invenção, um mecanismo de modelação, como por exemplo um sistema de modelação pode incluir software ou programas de modelação que caracterizam simultaneamente e ou graficamente o desempenho da vibração de dois ou mais candidatos BHA no que é referido como "desenho do projeto". O BHA

utilizado num sistema de perfuração pode ser selecionada baseado nos índices de desempenho relativos ou índices para configurações de desenho BHA diferentes. Estes índices podem incluir o índice de curvatura do ponto final, o índice de energia da deformação BHA, o índice de energia de deformação transmitida médio, o índice de energia de deformação transmitida, o índice da força lateral BHA do valor quadrático médio (RMS), o índice do momento de torção BHA RMS, o índice da força lateral BHA total, e o índice do momento de torção BHA total, que são também abaixo discutidos, adicionalmente aos objetivos do desenho estático específico para o conjunto respectivo. Também, as técnicas da presente invenção podem ainda incluir um "registro de dados" que compara as características da vibração prevista com os dados medidos em tempo real em condições específicas de funcionamento. Os mesmos índices utilizados no modo de projeto podem ser apresentados num modo de registro para comparar os dados de perfuração medidos em tempo real com os índices para ajudar a determinar o desempenho da vibração BHA e para poder compreender como avaliar as métricas de desempenho diferentes pela comparação com os dados de desempenho do campo (por exemplo dados medidos).

Voltando aos desenhos, e referindo-nos inicialmente à figura 1, nela está descrito um fluxograma exemplificativo 100 de um processo de modelação e funcionamento de um sistema de perfuração de acordo com determinados aspectos das técnicas da presente invenção. Neste processo, as configurações de desenho BHA candidato estão modeladas juntas para prover uma comparação clara entre os modelos diferentes. Cada configuração de desenho BHA é uma representação do modelo de um BHA que pode ser utilizado como parte das operações de perfuração de um poço.

O fluxograma tem início no bloco 102. No bloco 104, podem ser obtidos os dados para o modelo. Os dados podem incluir parâmetros de funcionamento (por exemplo variação do peso sobre a broca (WOB), variação

da velocidade de rotação (por exemplo rotações por minuto (RPM)), diâmetro do furo de sondagem nominal, alargamento do furo, ângulo do furo, densidade do fluido de perfuração, profundidade, e outros) e parâmetros do desenho BHA (por exemplo tamanho do colar de perfuração e propriedades mecânicas, tamanho do estabilizador e posições no BHA, tamanho do tubo de perfuração, comprimento, e outros). Alguns parâmetros relacionados com o modelo podem também ser utilizados, como por exemplo os modos de excitação vibracional a serem modelados (especificados como múltiplos da velocidade de rotação), comprimento do elemento, limitações, e número de elementos de "comprimento final" e o valor de incremento do comprimento final. Assim, as configurações de desenho BHA podem ser modeladas, como as mostradas no bloco 106. A modelação das configurações de desenho BHA podem incluir considerações das soluções estáticas seguidas de uma investigação em desempenho dinâmica para conduzir a simulação e revisão dos resultados, que são também abaixo discutidos. Um engenheiro gráfico BHA com experiência pode apreciar as trocas de desenho e, com a comparação dos resultados dos desenhos diferentes, desenvolver desenhos BHA com desempenhos de funcionamento melhorado. Um exemplo do processo de interação do desenho de modelação é também abaixo descrito na figura 2.

Logo que modelado, umas das configurações de desenho BHA é selecionada, como o mostrada no bloco 108. A seleção pode ser baseada numa comparação de várias configurações de desenho BHA. Isto é, a modelação das configurações de desenho BHA podem incluir exibições diferentes dos vetores de estado calculados (por exemplo deslocação, inclinação, momento de flexão, força de corte lateral da viga, e BHPJ forças de contato do poço e momentos de torção) como função dos parâmetros de funcionamento (por exemplo RPM, WOB, etc.), distância à broca, e configuração de desenho BHA. Os resultados exibidos ou soluções podem

incluir gráficos de vetor de estado em três dimensões, que são destinados a ilustrar as tendências vibracionais das configurações de desenho BHA alternativas. A seleção pode incluir adicionalmente a seleção de uma configuração de desenho BHA preferida para identificar uma variação de funcionamento preferida para a configuração de desenho preferida. A seleção pode ser baseada no desempenho relativa das configurações de desenho BHA, que podem ser avaliadas utilizando uma variedade de índices, incluindo o índice de curvatura do ponto final, o índice de energia de deformação BHA, o índice da energia da deformação transmitida médio, o índice de energia da deformação transmitida, o índice da força lateral BHA RMS, o índice do momento de torção BHA RMS, o índice da força lateral BHA total, o índice do momento de torção BHA total e qualquer combinação matemática destes índices.

O processo de seleção inclui ainda considerar os resultados estáticos providos por um sistema de modelação. As considerações do modelo estático incluem prover os valores adequados estáticos da força lateral e do ângulo de inclinação da broca, além dos valores baixos das forças de contato estáticas nos pontos de contato, com a compreensão de que as forças laterais estáticas assim como as forças laterais dinâmicas geram o momento de torção assim que os BHA rodam, servindo assim como mecanismos de perda de energia de perfuração. As considerações de desempenho estáticas e dinâmicas podem ser úteis na seleção ótima da configuração de desenho BHA.

No bloco 110, um poço pode ser perfurado com um equipamento de perfuração designado na configuração de desenho BHA selecionada. A perfuração do poço pode incluir formar o poço para aceder a uma formação da subsuperfície com o equipamento de perfuração. Seguidamente, os dados medidos podem ser comparados com os dados calculados da configuração de desenho BHA selecionada, como o mostrado no bloco 112. Isto é, como as operações de perfuração estão a ser executadas

ou serão executadas passado algum tempo depois das operações de perfuração, para recolher os dados medidos associados com a funcionamento do equipamento de perfuração podem ser utilizados sensores. Por exemplo, os dados medidos podem incluir RPM, WOB, as medições das vibrações axiais, laterais, e deslizamento às sacudidelas, desempenho da perfuração como a determinada pela energia específica mecânica (MSE), ou outras medidas derivadas apropriadas. Os dados do furo de fundo de poço tanto podem ser transmitidos à superfície em tempo real ou podem ser guardados no equipamento do furo de fundo de poço e recebidos quando o equipamento regressa à superfície. Os dados medidos podem ser comparados com dados calculados a partir do sistema de modelação para a configuração de desenho BHA seleccionada ou um modelo BHA utilizado nas operações de perfuração. O processo de interação facilita a validação e a verificação da modelação, e permite que os engenheiros gráficos possam controlar o valor do processo do desenho e deste modo melhorar o documento do processo de perfuração. Ele também ajuda a determinar quais os valores do índice de desenho que permitem maior ponderação no processo de seleção BHA, provendo assim meios de estudos para promover o desenvolvimento do processo de seleção da configuração de desenho BHA. Assim que o poço está formado, os hidrocarbonetos podem ser produzidos a partir do poço, como o mostrado no bloco 114. A produção de hidrocarbonetos pode incluir completar o poço com uma completação de poço, acoplamento das tubagens entre a completação de poço e as instalações de superfície, e/ou outros métodos conhecidos para a extração de hidrocarbonetos a partir de um poço. De qualquer modo, o processo termina no bloco 116.

Vantajosamente, as técnicas da presente invenção podem ser utilizadas para reduzir os limitadores que podem impedir as operações de perfuração. Para facilitar estes melhoramentos, duas ou mais configurações de desenho BHA são comparadas simultaneamente com o cálculo simultâneo e a

exibição dos resultados do modelo para dois ou mais desenhos. Com esta comparação, podem ser avaliados os méritos das configurações alternativas de desenho. Também, com os dados calculados e os dados medidos associados à configuração de desenho selecionada, outros limitadores que podem estar
5 presentes durante a perfuração do poço podem ser identificados e solucionados oportunamente para adicionalmente aumentar as operações de perfuração. Por exemplo, se o limitador primário aparece como sendo as vibrações de deslizamento às sacudidelas de torção e as fontes do momento de torção no BHA devido a que as forças de contato foram minimizadas, outro
10 atenuador possível é a escolha de uma broca menos agressiva que gera um momento de torção inferior para um dado peso aplicado sobre a broca. Na figura 2 abaixo é mais detalhadamente descrito um exemplo da modelação de duas ou mais configurações de desenho BHA.

A figura 2 é um fluxograma exemplificativo 200 da modelação
15 de duas ou mais configurações de desenho BHA no bloco 108 da figura 1 de acordo com certos aspectos das técnicas da presente invenção. A título exemplificativo, neste fluxograma, a modelação das duas ou mais configurações de desenho BHA é descrita como sendo executada por um sistema de modelação. O sistema de modelação pode incluir um sistema
20 informático que funciona com um programa de modelação. O programa de modelação pode incluir instruções legíveis por computador ou códigos que comparam as duas ou mais configurações de desenho BHA, que são adicionalmente abaixo discutidas.

O fluxograma tem início no bloco 202. Para o seu início, o
25 projeto BHA e os parâmetros são obtidos para construir as configurações de desenho BHA, como as discutidas nos blocos de 204 a 208. No bloco 204, podem ser obtidos os parâmetros de funcionamento. Os parâmetros de funcionamento, como por exemplo as variações antecipadas de WOB, RPM e a inclinação do poço, podem ser obtidos por um utilizador com a introdução

dos parâmetros de funcionamento no sistema de modelação ou acedendo a um
ficheiro que têm os parâmetros de funcionamento. Para o modelo estático, a
condição de modelo ponto final de BHA (por exemplo extremidade afastada
da broca de perfuração) pode ser definida para uma condição centralizada
5 (por exemplo o tubo está centrado no poço) assim como uma condição de
deslocamento (por exemplo o tubo está pousado sobre a parte de baixo do
poço). Os parâmetros do desenho BHA são seguidamente obtidos, como os
mostrados no bloco 206. Como o anteriormente descrito, os parâmetros do
desenho BHA podem incluir o tamanho do colar de perfuração e propriedades
10 mecânicas disponíveis, o tamanho dos estabilizadores disponíveis, o tamanho
do tubo de perfuração, comprimento, e outro. Por exemplo, se o equipamento
de perfuração é uma seção de tubagem ou conduta, os parâmetros do desenho
BHA podem incluir o diâmetro interno (ID), o diâmetro externo (OD), o
comprimento e momento de flexão de inércia do tubo, e as propriedades do
15 material do tubo. Também, o sistema de modelação pode modelar o
equipamento de perfuração de aço, material não magnético, Monel, alumínio,
titânio, etc. Se o equipamento de perfuração é um estabilizador ou uma broca
alargadora, os parâmetros do desenho BHA podem incluir lâmina OD,
comprimento de lâmina, e/ou distância às lâminas desde as extremidades. No
20 bloco 208, os projetos iniciais de BHA são obtidos. A obtenção dos projetos
BHA podem incluir o acesso a uma versão guardada de uma configuração
BHA previamente modelada ou utilizada ou o projeto BHA, interagindo com
o sistema de modelação para especificar ou criar um projeto BHA dos
parâmetros do desenho BHA, ou introduzindo uma configuração proposta no
25 modelo que foi provida pelo engenheiro de perfuração ou fornecedor de
serviços de perfuração. Os projetos BHA especificam o posicionamento do
equipamento e tipos de equipamento no BHA, normalmente determinados
como a distância à broca de cada componente.

Assim que as configurações de desenho BHA diferentes estão

completadas, os resultados para as configurações de desenho BHA selecionadas são calculados como o mostrado no bloco 210. Os cálculos podem incluir os cálculos dos estados estáticos para determinar a força e o ângulo de inclinação na broca e as forças de contato no estabilizador estático, o cálculo dos índices de desempenho dinâmicos, o cálculo dos valores de estado dinâmico para modos de excitação específica como função da velocidade de rotação e distância à broca, e outros. Mais especificamente, os cálculos podem incluir a flexão lateral dinâmica (por exemplo modo de flexão) e a resposta dinâmica da rotação excêntrica como perturbações sobre um equilíbrio estático, que pode ser calculado utilizando o método da matriz de transferência de estado abaixo descrito ou outro método adequado. Este modo de flexão ou modo de flexão lateral dinâmico pode ser referido como "rotação". As respostas estáticas podem incluir a resposta do vetor de estado (por exemplo deslocamento, inclinação, momento de flexão, força de corte, e forças de contato ou momentos de torção) como função de distância desde a broca, WOB, e inclinação de poço (por exemplo ângulo ou ângulo de inclinação). Para os valores da resposta dinâmica, as variáveis de estado podem ser calculadas como função da distância desde a broca de perfuração, WOB, RPM, modo de excitação, e comprimentos finais. Como é utilizado neste caso, o "modo excitação" é um múltiplo da velocidade de rotação a que o sistema está a ser excitado (por exemplo, é bem conhecida que uma broca cônica provê uma excitação axial múltipla três vezes superior, que se pode acoplar ao modo lateral). O "comprimento final" é o comprimento do tubo adicionado ao topo do BHA, na maioria dos casos no tubo de perfuração pesado, para avaliar a energia vibracional que está a ser transmitida na superfície do furo. Porque a resposta pode ser sensível à posição do último ponto nodal, o processo computacional é para avaliar um número das ditas posições possíveis para este ponto nodal para a computação da resposta. Seguidamente estes resultados diferentes são nivelados (por valor quadrático

médio (RMS) para obter a resposta do sistema total para o conjunto paramétrico dos vários modos de excitação e comprimentos finais para cada RPM, e o valor máximo do "pior caso" pode ainda ser apresentado, o qual é também abaixo descrito. Para a flexão lateral e rotação de excêntrico, os estados de modelo (por exemplo deslocamento, inclinação, momento de flexão, força de corte, e forças de contato ou momentos de torção) podem ser calculados e exibidos como funções de distância desde a broca para WOB, RPM, modo de excitação, e comprimento final específicos.

Assim que os resultados são calculados e exibidos, simultaneamente como o mostrado no bloco 210, os resultados são verificados, como o mostrado no bloco 212. O processo de verificação do cálculo inclui a determinação por análise de que por exemplo na simulação não foram encontrados problemas numéricos e que todos os modos de excitação estavam adequadamente simulados ao longo da variação requerida das velocidades de rotação, pesos da broca, e comprimentos finais. Seguidamente, é determinado se as configurações de desenho BHA devem ser modificadas, como o mostrado no bloco 214. Se as configurações de desenho BHA ou parâmetros específicos devem ser modificadas, as configurações de desenho BHA podem ser modificadas no bloco 216. As modificações podem incluir aspectos específicos de mudança nos parâmetros de funcionamento, configurações de desenho BHA, parâmetros do desenho BHA e/ou juntando uma nova configuração de desenho BHA. Como um exemplo específico, o WOB, RPM e/ou modo de excitação podem ser mudados para modelar outro conjunto de condições de funcionamento. As configurações de desenho BHA são habitualmente ajustadas pela alteração da distância entre os pontos de estabilização, mudando o tamanho ou o número de estabilizadores e colares de perfuração, recolocando as brocas alargadoras ou cruzamentos numa posição diferente na configuração de desenho BHA, e outros. Assim que as modificações estejam completas, no bloco 210 os resultados podem ser

calculados de novo, e o processo pode ser repetido para também aumentar o desempenho.

No entanto, se as configurações de desenho BHA não têm de ser modificadas, os resultados são providos, como o mostrado no bloco 218.

5 O fornecimento dos resultados pode incluir guardar os resultados na memória, imprimir o relatório dos resultados, e/ou a exibição dos resultados num uma tela. Por exemplo, uma comparação gráfica colocando lado a lado as configurações de desenho BHA selecionadas podem ser exibidas pelo sistema de modelação. Os resultados de algumas respostas estáticas e dinâmicas
10 calculadas para WOB, RPM, modo de excitação, comprimentos finais, e índices de vibração específicos podem também ser exibidos em gráficos bidimensionais ou tridimensionais. Também, se os resultados são para ser comparados com os dados medidos (por exemplo o sistema de modelação está no "modo de registro"), os resultados podem ser exibidos em comparação
15 direta com os dados medidos para certas configurações de desenho BHA. Neste modo, os resultados podem ser calculados utilizando as condições de funcionamento de um campo específico, como por exemplo a execução de uma simulação da configuração de desenho BHA com os parâmetros de funcionamento (velocidade de rotação e peso sobre a broca) a intervalos
20 específicos para a respectiva "brocagem" ou intervalos de profundidade de perfuração aplicada. Este modo pode facilitar a comparação simultânea dos resultados do modelo (por exemplo dados calculados) com os dados medidos, como por exemplo, ROP, energia específica mecânica (MSE), vibrações medidas (no furo de fundo de poço , e outros dados do campo medidos de
25 forma direta ou derivados. De qualquer modo, o processo termina no bloco 220.

Vantajosamente a modelação das configurações de desenho BHA podem melhorar as operações de perfuração provendo um BHA mais adequado para o meio da perfuração. Por exemplo, se umas das configurações

de desenho BHA está baseada no equipamento de perfuração utilizado num determinado campo, então outros desenhos podem ser modelados e comparados diretamente com a configuração de desenho BHA previamente utilizada. Isto é, umas das configurações de desenho BHA pode ser utilizada
5 como o padrão de referência para comparar as tendências de vibração de outras configurações de desenho BHA. Desta forma, as configurações de desenho BHA podem ser simultaneamente comparadas para determinar uma configuração de desenho BHA que reduz o efeito dos limitadores, como por exemplo as vibrações. Por exemplo, uma das configurações de desenho
10 selecionadas pode ser o conjunto dos dados de referência, e os resultados são calculados e exibidos simultaneamente ou concorrentemente para os dados de referência e para a seleção de outras configurações BHA para permitir a comparação direta e imediata dos resultados. Se o sistema de modelação pode comparar seis configurações de desenho BHA diferentes, então cinco
15 configurações de desenho BHA propostas podem ser simultaneamente comparadas com o padrão de referência da configuração de desenho BHA. Este processo é mais prático do que a tentativa de otimizar um sistema no sentido clássico, como por exemplo a repetição dos ajustamentos e simulações até que pelo menos um parâmetro de desempenho da perfuração
20 seja determinado como um valor ótimo. A questão fundamental a que o engenheiro de perfuração tem que responder é a relativa à configuração dos componentes BHA que funcionam com as vibrações mais baixas sobre as condições de funcionamento para uma operação de perfuração particular. Um processo preferido para solucionar esta questão de desenho é o de modelar
25 várias configurações alternativas e seguidamente selecionar a que numa forma ótima a executa numa variação esperada de funcionamento.

Modelo de vibração dinâmica BHA exemplificativo

Como um exemplo, uma forma exemplificativa de realizar a invenção de um modelo de vibração dinâmico BHA é abaixo descrita. No

entanto, salientamos que outros modelos BHA, por exemplo utilizando um ou mais métodos de cálculo acima discutidos, podem também ser utilizados para igualmente formar um índice de desempenho comparativo. Estes métodos podem incluir mas não se limitam aos métodos de modelação dos elementos finitos bidimensionais ou tridimensionais. Por exemplo, o cálculo dos resultados para uma ou mais configurações de desenho podem incluir a criação de um modelo matemático para cada configuração de desenho; o cálculo dos resultados do modelo matemático para parâmetros de funcionamento específicos e limitações; a identificação dos deslocamentos, do ângulo de inclinação (primeira derivada espacial do deslocamento), momento de flexão (calculado a partir da segunda derivada espacial de deslocamento), e força de corte da viga (calculada a partir da terceira derivada espacial de deslocamento) a partir dos resultados do modelo matemático; e determinação dos vetores de estado e matrizes a partir da saída de dados identificados do modelo matemático. Nos modelos mais complexos, estes vetores de estado podem ser atribuídos a nodos de referência específicos, por exemplo num eixo neutro do corte transversal BHA, distribuído no corte transversal e ao longo do comprimento do BHA, ou noutras posições de referência convenientes. Como tal, a resposta dos dados do vetor de estado, calculados a partir dos resultados do modelos dos elementos finitos, podem seguidamente ser utilizados para calcular os índices de desempenho para avaliar os desenhos BHA e para os comparar com as configurações BHA alternativas, o descrito na presente invenção.

O modelo BHA descrito na presente invenção é um modelo de parâmetros concentrados, que é uma forma de realizar um modelo matemático, implementado dentro da estrutura de vetores de estado e das matrizes de função de transferência. O vetor de estado representa a descrição completa da resposta do sistema BHA em qualquer posição dada no modelo BHA, que habitualmente é definida relativamente à posição da broca. A

matriz da função de transferência refere-se ao valor do vetor de estado numa posição com o valor do vetor de estado em qualquer outra posição. O estado do sistema total inclui uma solução estática mais uma perturbação dinâmica perto do estado estático. A natureza linear do modelo para perturbações dinâmicas pequenas facilita a decomposição estática versus decomposição dinâmica do sistema. O modelo dinâmico é uma variedade na classe dos modelos de resposta de frequência forçada, com matrizes específicas e limitações como as abaixo descritas.

As matrizes de função de transferência podem ser multiplicadas para determinar a resposta através da série dos elementos no modelo. Assim, uma única função de transferência pode ser utilizada para descrever a resposta dinâmica entre dois pontos quaisquer. Um modelo de parâmetros concentrados produz uma aproximação à resposta de um sistema contínuo. As massas do ponto discreto no modelo BHA estão conectadas a outros elementos de massa por molas sem massa do modelo BHA e, numa variação, ao poço nos pontos de contato por molas e, opcionalmente, elementos amortecedores. As massas podem-se mover livremente para os lados dentro das limitações das cargas aplicadas, incluindo gravidade.

Matriz e formulação do vetor de estado

Para o movimento lateral num plano, o vetor de estado inclui as deflexões laterais e angulares, assim como o momento de flexão e carga de corte da viga. O vetor de estado u é aumentado por uma unidade constante para permitir que as equações de matriz incluam um termo constante em cada equação que é representada. O vetor de estado u pode ser então escrita como a equação (e1) como segue:

$$u = \begin{pmatrix} y \\ \theta \\ M \\ V \\ 1 \end{pmatrix} \quad (e1)$$

Em que y é a deflexão lateral da viga a partir da linha central do conjunto, θ é a deflexão angular ou a primeira derivada espacial de deslocamento, M é o momento de flexão que é calculado a partir da segunda derivada espacial de deslocamento, e V é a carga de corte da viga que é calculada a partir da terceira derivada espacial de deslocamento. Para um modelo tridimensional, o vetor de estado definido pela equação (e1) pode ser aumentado por estados adicionais para representar os deslocamentos e derivados em nodos adicionais. As interações entre os movimentos em cada nodo pode no caso geral incluir termos acoplados.

Por linearidade, a resposta total pode ser decomposta num componente estático u^s e num componente dinâmico u^d (por exemplo $u = u^s + u^d$).

No método de resposta da frequência forçada, é presumido que o sistema oscila na frequência ω da entrada de dados forçada, que é uma característica dos sistemas lineares. Seguidamente, o tempo e o espaço separados na resposta dinâmica e utilizando a sobreposição do deslocamento total da viga em qualquer ponto axial x para qualquer tempo t pode ser expresso pela equação (e2):

$$u(x, t) = u^s(x) + u^d(x) \text{Sen}(\omega t) \quad (e2)$$

Os vetores de estado u_i , (para o índice do elemento i variam entre 1 e N) podem ser utilizados para representar o estado de cada elemento de massa, e o vetor de estado u_0 é utilizado para designar o estado da broca. As matrizes de função de transferência são utilizadas para representar o vetor

de estado u_i , de um elemento de massa de estado u_{i-1} , do elemento de massa anterior. Se no modelo não há nenhum amortecimento, então os vetores de estado são os valores reais. No entanto, o amortecimento pode ser introduzido e seguidamente os vetores de estado podem ser valores complexos, sem perda de generalidade.

Porque os vetores de estado são utilizados para representar as massas, cada massa pode ser presumida para ter no modelo uma mola associada que a conecta à massa anterior. Salientando que M_i estipula a matriz de transferência de massa, e uma matriz de transferência do elemento de ligação da viga representada por B_i , a função de transferência combinada 7, é mostrada pela equação (e3) abaixo.

$$T_i = M_i B_i \quad (e3)$$

Os subíndices numéricos são utilizados para especificar cada par de elementos massa- viga. Por exemplo, o vetor de estado u_1 pode ser calculado a partir do estado u_0 representado pela equação (e4).

$$u_1 = M_1 B_1 u_0 = T_1 u_0 \text{ e assim } u_i = T_i u_{i-1} \quad (e4)$$

Estas matrizes podem ser colocadas em cascata para prosseguirem em posições sucessivas sobre o BHA. Por exemplo, o vetor de estado u_2 pode ser representado pela equação (e5).

$$u_2 = T_2 u_1 = T_2 T_1 u_0 \quad (e5)$$

enquanto continua até um ponto de contato, o vetor de estado u_N , pode ser representado pela equação (e6).

$$u_N = T_N u_{N-1} = T_N T_{N-1} \dots T_1 u_0 \quad (e6)$$

Consequentemente, dentro de um intervalo entre os pontos de contato, o estado u_j

em qualquer elemento de massa pode ser escrita em termos de

qualquer estado abaixo em que o elemento u , utiliza uma matriz em cascata S , 1 vez o vetor de

estado apropriado pela equação (e7):

$$u_j = S_{ij} u_i \text{ onde } i < j, \quad S_{ij} = T_j T_{j-1} \dots T_{i+1} \quad (e7)$$

Considerações da solução do vetor de estado nos pontos de contato serão abaixo discutidas.

Formulação das matrizes de massa

A matriz da função de transferência de massa para o problema estático é derivada a partir do equilíbrio de forças que agem no elemento de massa m . Geralmente, cada componente BHA é subdividido em elementos pequenos, e este elemento de massa concentrada está submetido a uma carga de corte de viga, carga gravitacional (assumindo o ângulo de inclinação 0), contato do poço com uma rigidez k , e força amortecedora com o coeficiente b . O equilíbrio da força geral para o elemento pode ser escrito como a equação (e8) utilizando os sinais "ponto" e "dois pontos" para representar a primeira e a segunda derivada de tempo, ou velocidade e aceleração, respectivamente.

$$m\ddot{y} = V_i - V_{i+1} - mg \sin \phi - ky - b\dot{y} = 0 \quad (e8)$$

A matriz da função da transferência do elemento de massa concentrada sob cargas estáticas inclui o componente lateral da gravidade ($mg \sin \phi$) e qualquer força de contato da mola ou, alternativamente, uma restrição aplicada no processo de solução, no caso de que o valor de k seja zero. No caso estático, as derivadas de tempo são zero, e assim as forças de amortecimento e inércia estão ausentes. A matriz de massa estática pode ser escrita como a seguinte equação (e9).

$$M_s = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ k & 0 & 0 & 1 & (mg \sin \phi) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (e9)$$

Na flexão dinâmica lateral, as forças aplicadas à massa consistem na força de corte da viga, contato do poço e cargas amortecedoras. Novamente, o contato do poço pode ser o resultado de uma força de mola ou uma relação de uma restrição aplicada. No entanto, pensamos que devido à perturbação dinâmica perto do estado estático (utilizando o princípio de superposição linear), a força gravitacional é ausente a partir da matriz de massa dinâmica.

No exemplo dinâmico, as cargas aplicadas podem ser desequilibradas, conduzindo a uma aceleração do elemento de massa. A aceleração lateral de massa é igual ao equilíbrio da força do corte da rede, contato de mola, e forças amortecedoras, resultando na equação (e10).

$$m\ddot{y} = V_i - V_{i-1} - ky - b\dot{y} = 0 \quad (e10)$$

Assumindo uma resposta forçada harmônica complexa $y^d \sim e^{j\omega t}$, em que j representa o número imaginário igual a $\sqrt{-1}$, a solução da equação (e10) pode ser encontrada na equação (e11).

$$V_i = V_{i-1} + (k + j b \omega - m \omega^2) y^d \quad (e11)$$

A matriz da função da transferência do elemento de massa concentrada M_B , para o modo de flexão lateral da perturbação dinâmica, é então escrita pela equação seguinte (e12).

$$M_B = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ (k + jb\omega - m\omega^2) & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (e12)$$

A matriz de massa no modelo de rotação dinâmica no colar de perfuração envolve uma força de magnitude constante que se parece à força gravitacional na matriz de massa estática. É presumido que cada colar de perfuração tem uma massa ligeiramente desequilibrada, gerando uma força centrífuga proporcional a esta massa desequilibrada vezes o quadrado da frequência de rotação. Para um valor pequeno de e que representa a distância adimensional fora do eixo de massa desequilibrada, a equação de movimento para a resposta forçada é dada pela equação (e13).

$$m\ddot{y} = V_i - V_{i-1} + em\omega^2 - ky - b\dot{y} \quad (e13)$$

Neste exemplo a deslocação radial não muda com o tempo no modo de rotação simplificado, e portanto a aceleração e a velocidade podem ser ajustadas a zero. Esta representa o movimento fixo de rotação, que não é diferente de uma carga gravitacional de rotação, em contraste ao modo de flexão lateral em que o deslocamento oscila através de um valor zero. A matriz de rotação resultante está representada na equação (e14).

$$M_W = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ k & 0 & 0 & 1 & (em\omega^2) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (e14)$$

O valor de s tanto pode ter um sinal positivo como um sinal negativo para representar a forma da resposta de rotação que está a ser modelada. O primeiro modo de rotação é geralmente representado alternando os sinais em intervalos sucessivos dos colares de perfuração como se

procedêsemos num furo de sondagem.

A massa do parâmetro concentrado m é definida como a massa da parte do elemento do componente BHA respectivo. Adicionalmente, a massa do colar de perfuração ou tubo é eficazmente aumentada pelo fluido de perfuração contido no interior do colar e que é arrastado pelo elemento BHA à medida que este vibra. A técnica de "massa adicionada" pode ser utilizada para aproximar este fenómeno. Por esta razão, uma aproximação a grosso modo é a de aumentar em 10% a massa do colar dinâmico, conduzindo a uma ligeira redução na frequência natural. Salientamos que não é apropriada aplicar a massa adicionada à solução estática. Como o acima referido, dependendo do método de solução, a constante da mola pode ser omitida se a solução é aplicada a uma relação de restrição de forma a que apenas seja permitido que o modelo BHA se estenda fora do poço numa quantidade muito pequena.

Se o modelo de restrição não é utilizado, então a rigidez de contato k nas relações acima deverão ser explicitamente incluídas. Neste exemplo, um fator a ser considerado na escolha da rigidez de contato do poço k quando da modelação da excitação dinâmica é que o valor de k deverá ser escolhido o suficientemente alto para a massa m de forma a que a frequência natural $\sqrt{s/k/m}$ seja maior que a frequência de excitação máxima ω a ser avaliada, de forma a que ressonância devido a esta representação de contato seja evitada. Assim, para um modo de excitação de

n vezes a velocidade de rotação, a rigidez de contato k pode ser maior que $m(n\omega)^2$ (por exemplo $k > m(n\omega)^2$)

Alternativamente, e na forma preferida de realizar a invenção, a adaptação nos pontos de contato entre BHA e o poço podem ser desprezados e uma relação de restrição fixa aplicada no método de solução, com $k = 0$ nas matrizes acima. Este processo é também abaixo descrito.

Formulação da matriz de rigidez

A equação de flexão da viga de Euler-Bernoulli para uma viga uniforme com um módulo de Young constante E, momento de flexão da inércia I, e carga axial P pode ser escrita como uma equação diferencial parcial de quarta ordem (e15).

$$EI \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} - P \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = 0 \quad (\text{e15})$$

5 A equação característica para a solução geral é representada pela equação (e16)

$$y = e^{\beta x} \quad (\text{e16})$$

Esta equação expressa o deslocamento lateral como a energia exponencial de um parâmetro β vezes a distância x a partir de um ponto de referência, sendo o termo β encontrado substituindo esta solução na equação (e15) e resolvendo com as equações (e17) e (e18) abaixo.

$$\beta^2 \left(\beta^2 - \frac{P}{EI} \right) = 0 \quad (\text{e17})$$

$$\beta = 0, \pm \sqrt{\frac{P}{EI}} \quad (\text{e18})$$

É de notar que β é qualquer real (viga em tensão), imaginário (viga em compressão), ou 0 (sem carga axial). A solução particular apropriada é uma constante mais o termo

linear em x. Assim, o deslocamento de uma viga carregada axialmente pode ser representada pela equação (e19).

$$y = a + bx + ce^{\beta x} + de^{-\beta x} \quad (\text{e19})$$

em que as constantes a, b, c e d foram encontradas para satisfazer as limitações.

Os componentes restantes do vetor de estado são determinados pelas equações seguintes nas derivadas espaciais de deslocamento lateral com

a coordenada axial χ (e20).

$$\theta = \frac{\partial y}{\partial x} \quad M = EI \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \quad V = EI \frac{\partial^3 y}{\partial x^3} \quad (e20)$$

A matriz da função de transferência da rigidez à flexão da viga resultante B pode ser representada pela equação seguinte (e21).

$$B = \begin{pmatrix} 1 & L & \left(\frac{-2 + e^{\beta L} + e^{-\beta L}}{2\beta^2 EI} \right) & \left(\frac{2\beta L - e^{\beta L} + e^{-\beta L}}{2\beta^3 EI} \right) & 0 \\ 0 & 1 & \left(\frac{e^{\beta L} - e^{-\beta L}}{2\beta EI} \right) & \left(\frac{2 - e^{\beta L} - e^{-\beta L}}{2\beta^2 EI} \right) & 0 \\ 0 & 0 & \left(\frac{e^{\beta L} + e^{-\beta L}}{2} \right) & \left(\frac{-e^{\beta L} + e^{-\beta L}}{2\beta} \right) & 0 \\ 0 & 0 & \left(\frac{-\beta e^{\beta L} + \beta e^{-\beta L}}{2} \right) & \left(\frac{e^{\beta L} + e^{-\beta L}}{2} \right) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (e21)$$

Limitações e excitação do sistema

- 5 Definidas as funções de transferência do elemento da viga e de massa, as limitações e excitação do sistema são determinadas para gerar as previsões do modelo. As limitações separadas são utilizadas para modelar a flexão estática, a flexão lateral dinâmica, e problemas de rotação do excêntrico.
- 10 Em cada um destes exemplos, a solução prossegue a partir da broca até ao primeiro estabilizador, seguidamente desde o primeiro estabilizador até ao segundo estabilizador, etc., prosseguindo ao mesmo tempo na superfície num intervalo de solução (por exemplo desde a broca como intervalo inicial). Por último, é resolvido o intervalo a partir do topo do
- 15 estabilizador até ao ponto final. O ponto final é o nodo superior do modelo BHA, e pode ser variado para considerar diferentes pontos nodais possíveis no "comprimento final". Um deslocamento lateral apropriado para este ponto final é presumido no modelo estático, baseado na distância de separação entre o tubo e o poço.

Neste método, os estados em cada intervalo de solução são determinados por três condições no elemento inferior (broca ou estabilizador de fundo no intervalo), e uma condição no elemento superior (ponto final ou topo do estabilizador no intervalo). Com estas quatro condições e a totalidade da matriz da função de transferência desde o elemento inferior até ao elemento superior, podem ser calculados, no elemento inferior, os estados desconhecidos restantes.

Iniciando na broca, o deslocamento do primeiro estabilizador é utilizado para determinar o estado da broca, e assim todos os estados até ao primeiro estabilizador são determinados utilizando as matrizes de função de transferência apropriadas. Por continuidade, o deslocamento, inclinação, e momento são agora determinados no ponto de contato do primeiro estabilizador. A carga de corte da viga é indeterminada, devido a que este estado não têm uma restrição de continuidade porque há uma força lateral desconhecida que age entre o estabilizador e o poço. O deslocamento do seguinte estabilizador é utilizado para prover a quarta condição necessária para obter a solução para o intervalo seguinte, e assim é determinado o estado completo no estabilizador. A força de contato entre o estabilizador e o poço pode ser calculada como a diferença entre este valor de estado e o cálculo prévio da carga de corte a partir da seção BHA anterior. Utilizando a formulação da matriz em cascata na equação (e22).

$$\begin{pmatrix} y_j \\ \theta_j \\ M_j \\ V_j \\ 1 \end{pmatrix} = S_{ij} \begin{pmatrix} y_i \\ \theta_i \\ M_i \\ V_i \\ 1 \end{pmatrix} \text{ com as condições } \begin{pmatrix} V_i \text{ incógnita} \\ y_j = 0 \end{pmatrix} \quad (e22)$$

Seguidamente a incógnita da carga de corte desconhecida no estabilizador inferior é calculada utilizando a equação (e23) para obter o deslocamento zero na posição superior.

$$0 = S_{11}y_i + S_{12}\theta_i + S_{13}M_i + S_{14}V_i + S_{15} \quad (e23)$$

A carga de corte da viga é descontínua através dos pontos de contato, e a força lateral nesse nodo pode ser calculada como a diferença entre o valor obtido pela propagação dos estados abaixo de V7, e o valor calculado para satisfazer a relação de restrição para o segmento seguinte V:.
Consequentemente, a força lateral de contato pode ser representada pela equação (e24).

$$F_i = V_i^+ - V_i^- \quad (e24)$$

Para o exemplo estático, a inclinação e a força lateral são incógnitas na broca. Uma broca de teste com ângulo de inclinação é utilizada para gerar uma resposta e os vetores de estado são propagados à superfície de um ponto de contato a outro, atingindo finalmente o ponto final. O valor final para o ângulo de inclinação da broca e a força lateral são determinados repetindo até que a condição final apropriado seja atingida no topo do modelo, por exemplo uma condição de tangência entre o tubo e a parede do poço.

Para os modelos dinâmicos (flexão, rodopio, e giratório), é aplicada uma força lateral de excitação na broca de referência, por exemplo $V_{broca} = \text{const}$. A posição lateral do primeiro estabilizador é presumida restringida a zero pela condição fixa. Para unicamente resolver as equações desde a broca até ao primeiro estabilizador, duas ou mais condições são especificadas. Uma escolha para as limitações é a de presumir que para um pequeno movimento lateral, a inclinação e o momento na broca são zero. Este conjunto de limitações podem ser escritas como o mostrado na equação (e25):

$$y_{estab} = \theta_{broca} = M_{broca} = 0 \quad V_{broca} = \text{const} \quad (e25)$$

Um conjunto alternado de limitações podem ser consideradas presumindo que o ângulo de inclinação no primeiro estabilizador é zero, equivalente a uma condição em cantilever, e que não há nenhum momento na

broca. Este conjunto alternado de limitações podem ser escritas como o mostrado na equação (e26):

$$y_{estab} = \theta_{estab} = M_{broca} = 0 \quad V_{broca} = const \quad (e26)$$

A solução avança à superfície estabilizador por estabilizador, terminando no último nodo que foi arbitrariamente escolhido mas colocados em diferentes "comprimentos finais" no caso dinâmico. Seleccionando diferentes comprimentos finais e determinação das médias RMS dos resultados, os índices de desempenho podem ser formados de forma robusta. O controlo contra a ressonância forte num ponto nodal individual, o resultado máximo é também examinado. Estas técnicas eram requeridas para o modelo inicial que utilizava o índice de curvatura do ponto final descrito abaixo, devido a que foi descoberto que estes resultados eram sensíveis à seleção da posição do ponto nodal. Salientamos que os novos índices de desempenho BHA são menos sensíveis à condição final do BHA e portanto podem ser preferidos. Salientamos também que o contato BHA com o furo de sondagem nas posições entre os estabilizadores podem opcionalmente ser tratados como um ponto nodal neste método de análise, e a propagação da solução modificada consequentemente.

Índices de desempenho BHA

Os vetores das variáveis de estado acima descritos podem ser utilizados para prover vários índices que são utilizados para caracterizar o desempenho da vibração BHA das configurações de desenho BHA diferentes. Entretanto deveria ser referido que outras combinações de variáveis de estado e quantidades derivadas das variáveis de estado fundamentais podem também ser utilizadas, o índice de curvatura do ponto final, o índice de energia da deformação BHA, o índice da energia da deformação transmitida médio, o índice da energia da deformação transmitida, o índice da força lateral RMS BHA, o índice do momento de torção BHA RMS, o índice da força lateral BHA total, e o índice do momento de torção BHA total são também abaixo

discutidos.

A configuração de desenho BHA inclui componentes desde uma seção inferior na broca através de quase todos ou todos os colares de perfuração, e uma seção superior que é o último componente na configuração de desenho BHA e que geralmente são os tubos de perfuração pesados. Vários nodos N podem ser utilizados no modelo da configuração de desenho BHA estando o nodo 1 na broca. O primeiro elemento na seção superior tem o índice "U", e o último elemento na seção inferior tem o índice "E" isto é $U=L+1$. Além de que, há os pontos de contato "C" com forças de contato "Fi" em que o índice j varia nos elementos BHA que estão em

contato com o poço. A partir destes estados dinâmicos, vários índices podem ser calculados. Por exemplo, o índice de curvatura do ponto final pode ser representado pela equação (e27), que é abaixo descrita.

$$PI = \alpha \frac{M_N}{(EI)_N} \quad (e27)$$

Em que PI é um o índice de desempenho, MN é o momento de flexão no último elemento no modelo, (E/N) é a rigidez à flexão deste elemento, e α é uma constante.

Deve ser referido que α pode ser 7.33×10^5 ou outra constante adequada.

Igualmente, o índice de energia da deformação BHA médio pode ser representado pela equação (e28), que é abaixo descrita:

$$PI = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L \frac{M_i^2}{2(EI)_i} \quad (e28)$$

Em que a soma é tomada sobre os elementos L na parte inferior do BHA, e o índice i refere-se a cada um destes elementos.

O índice de energia da deformação transmitida médio pode ser representado pela equação (e29), que é como segue:

$$PI = \frac{1}{(N - U + 1)} \sum_{i=U}^N \frac{M_i^2}{2(EI)_i} \quad (e29)$$

Em que N é o número total de elementos e U é o primeiro elemento da parte superior do BHA (normalmente o tubo de perfuração pesado), e a soma é tomada sobre esta parte superior do BHA.

Com a observação de que os momentos de flexão transmitidos aparecem sinusoidais de certa forma independentes do comprimento final neste intervalo uniforme do tubo (por exemplo $M = M_0 \sin kx$), o índice de energia da deformação transmitida pode ser mais simplesmente expresso na equação (e30) como segue:

$$PI = \frac{\left(\max_{i=U}^N (M_i) - \min_{i=U}^N (M_i) \right)^2}{16(EI)_N} \quad (e30)$$

Em que são calculadas as médias dos momentos de flexão máximos e mínimos na parte superior do BHA e seguidamente utilizadas como substituto para a amplitude da perturbação. Este índice de energia de deformação transmitida varia menos com o comprimento final e portanto computacionalmente é mais eficaz que o índice de curvatura do ponto final dado pela (e27), ainda que os dois medem a quantidade de energia que está a ser transmitida à coluna de perfuração por cima do próprio BHA.

Também, o índice da força lateral BHA RMS e o índice da força lateral BHA total podem ser representados pelas equações (e31) e (e32), respectivamente, as quais são abaixo providas:

$$PI = \sqrt{\frac{1}{C} \sum_{j=1}^C F_j^2} \quad (e31)$$

$$PI = \sum_{j=1}^C |F_j| \quad (e32)$$

Em que a força de contato F_j , é calculada para cada ponto de contato C a partir das limitações e propagação de solução como o acima discutido, e a soma é tomada sobre as forças de contato nestas posições utilizando o índice de ponto de contato j .

Os valores da força lateral dinâmica podem ser convertidos em valores de momento de torção dinâmicos correspondentes utilizando o momento aplicado ao braço (raio para o ponto de contato r_j) e o coeficiente de atrito apropriado em cada um dos pontos respectivos μ_j . Somando novamente sobre os elementos em contato com o furo de sondagem, o índice do momento de torção BHA do RMS e o índice do momento de torção BHA total podem ser representados pelas equações (e33) e (e34), respectivamente, que são abaixo providas:

$$PI = \sqrt{\frac{1}{C} \sum_{j=1}^C (\mu_j r_j F_j)^2} \quad (e33)$$

$$PI = \sum_{j=1}^C |\mu_j r_j F_j| \quad (e34)$$

Este índice modificado considera os efeitos dinâmicos de torção das forças laterais dinâmicas potencialmente maiores, provendo um valor do índice inferior para os aumentos, como por exemplo os coeficientes de atrito reduzidos e a utilização de cilindros alargadores, que são conhecidos para prover vibrações inferiores no campo.

Os valores dos índices da força lateral RMS e do momento de torção mostram um valor médio desta fonte de resistência dinâmica, enquanto que os valores totais dos índices da força lateral e do momento de torção representam a soma desta resistência em cada um dos pontos de contato BHA. Ambos podem prover uma informação útil de diagnóstico. Numa forma

preferida de realizar a invenção, o índice da força lateral BHA RMS provê uma força de reação do estabilizador médio, e o índice do momento de torção BHA total mostra a resistência de rotação combinada de todos os pontos de contato, tendo em consideração o diâmetro das partes em contato com o poço e o respectivo coeficiente de atrito. Este índice provê informação valiosa para ajudar no projeto de mitigação das vibrações de torção do deslizamento às sacudidelas.

Numa forma preferida de realização do método da presente invenção, os índices ou expoentes do desempenho são calculados várias vezes para cada uma das velocidades de rotação e peso na broca para cada projeto de configuração. Os modos de excitação diferentes no modo de ligação à flexura são representados por frequências diferentes da força aplicada na broca. Porque não é conhecido o ponto nodal no topo do RHA, os resultados dinâmicos são calculados para vários "comprimentos finais" do ponto nodal para o modo de ligação à flexura assim como o modo de rotação. Estas iterações produzem vários valores de índices de desempenho para cada velocidade de rotação e peso da broca e é apropriada para reduzir estes valores diferentes num valor médio RMS e um valor máximo para simplificar a análise e a visualização destes resultados.

A média RMS de um índice de desempenho é definida pela equação (e35):

$$PI' = \sqrt{\frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (PI)_{ij}^2} \quad (e35)$$

em que PI' é a média do RMS do índice de desempenho desejado e $(PI)_{ij}$ é um dos índices definidos nas equações (e27), (e28), (e29), (e30), (e31), (e32), (e33), ou (e34) para i-ésimo dos modos m e j-ésimo do comprimento final BHA n no modelo.

O máximo de um índice de desempenho é definido pela

equação (e36):

$$PI' = \max_{i=1}^m \{ \max_{j=1}^n (PI)_{ij} \} \quad (e36)$$

em que PI' é o valor máximo do índice de desempenho desejada e $(PI)_{ij}$, é um dos índices definidos nas equações (e27), (e28), (e29), (e30), (e31), (e32), (e33), ou (e34) para i -ésimo dos modos m e j -ésimo dos comprimentos finais BHA n no modelo.

Forma exemplificativa de realizar a invenção

Como forma exemplificativa de realizar a invenção, os métodos acima descritos podem ser implementados num sistema de modelação, como o mostrado na figura 3. A figura 3 é uma forma exemplificativa de realizar a invenção de um sistema de modelação 300 com elementos e componentes diferentes que são utilizados para modelo, calculando e apresentando os resultados dos cálculos (por exemplo resultados simulados dos dados calculados em forma de gráficos ou de texto) das configurações de desenho BHA. O sistema de modelação 300 pode incluir um sistema informático 302 que tem um processador 304, um módulo de comunicação de dados 306, um uma tela ou unidade de exibição 308 e um ou mais programas de modelação 310 (por exemplo rotinas, aplicações ou conjuntos de instruções legíveis por computador) e dados 312 guardados na memória 314 nos arquivos ou outras estruturas de armazenagem. O sistema informático 302 pode ser um sistema convencional que inclui ainda um teclado, um rato e outras interfaces para interagir com o utilizador. Os programas de modelação 310 podem incluir um código configurado para executar os métodos acima descritos, enquanto que os dados 312 podem incluir dados medidos, resultados, dados calculados, parâmetros de funcionamento, parâmetros do desenho BHA, e/ou outras Informações utilizadas nos métodos acima descritos. Naturalmente, a memória 314 pode ser qualquer uma do tipo convencional para a armazenagem de dados legível

em computador utilizada para guardar as aplicações, que podem incluir disco duro, disquetes, CD-ROMs e outros meios ópticos, fita magnética, e outros.

Porque o sistema informático 302 pode comunicar com outros dispositivos, como por exemplo dispositivos do cliente 316a a 316n, o módulo de comunicação dos dados 306 pode ser configurado para interagir com outros dispositivos sobre uma rede 318. Por exemplo, os dispositivos do cliente 316a a 316n podem incluir sistemas informáticos ou outro processador baseado em dispositivos que troquem os dados, como por exemplo o programa de modelação 310 e os dados 312, com sistema informático 302.

Em particular, os dispositivos do cliente 316a a 316n podem estar associados ao equipamento de perfuração no lugar do poço ou podem estar colocados dentro de um escritório utilizados para modelar as configurações de desenho BHA. Como estes dispositivos podem estar colocados em lugares geográficos diferentes, tais como escritórios diferentes, edifícios, cidades, ou países, uma rede 318 pode ser utilizada para prover a comunicação entre as diferentes posições geográficas. A rede 318, que pode incluir diferentes dispositivos de rede, tais como encaminhadores, interruptores, pontes, podem por exemplo incluir uma ou mais áreas locais de rede, redes de banda larga, redes de área local, redes de área metropolitana, ou combinação destes diferentes tipos de rede. A conectividade e a utilização da rede 318 pelos dispositivos no sistema de modelação 300 é do conhecimento dos técnicos especializados.

Para utilizar o sistema de modelação, um utilizador pode interagir com o programa de modelação 310 via interfaces gráficas do utilizador (GUIs), que são descritas em várias vistas de uma tela nas figuras 4, 5A-5D, 6A-6I, 7A-7B, 8A-8E, e 9A-9D. Via as vistas de uma tela ou através da interação direta, um utilizador pode iniciar o programa de modelação para executar os métodos acima descritos. Por exemplo, os resultados do modelo podem ser gerados para várias configurações de desenho BHA e condições específicas de funcionamento, como por exemplo a saída de amostra nestas

figuras. Os resultados podem ser graficamente tabelados ou mostrados simultaneamente para a comparação direta das configurações de desenho BHA diferentes. Consequentemente, as figuras 4, 5A-5D, 6A-6I, 7A-7B, 8A-8E, e 9A-9D são vistas de telas exemplificativas de um programa de modelação de acordo com alguns aspectos das técnicas da presente invenção. Devido a que as vistas de uma tela estão associadas ao sistema de modelação 300, as figuras 4, 5A-5D, 6A-6I, 7A-7B, 8A-8E, e 9A-9D podem ser melhor compreendidas se observadas simultaneamente com a figura 3 e outras figuras 4, 5A-5D, 6A-6I, 7A-7B, 8A-8E, e 9A-9D. Também, deve ser referido que várias barras de menus, teclas virtuais e barras de deslizamento virtuais, podem funcionar de forma similar, e para ser mais simples podem utilizar os mesmos números de referência nas diferentes vistas de uma tela na discussão abaixo.

A figura 4, mostra a vista de uma tela 400 da imagem de inicialização para o programa de modelação. Nesta vista de uma tela 400, uma primeira tecla virtual 402 e uma segunda tecla virtual 404 são apresentadas juntamente com as opções de menu na barra de menu 406. A primeira tecla virtual 402, etiquetada como "Design Mode" é selecionada pelo utilizador que está a operar com o programa de modelação 310 para modelar várias configurações de desenho BHA. Nas aplicações habituais, modo de projeto (Design Mode) é utilizado para comparar as configurações de desenho BHA alternativas de forma a que a configuração de desenho BHA ótima possa ser utilizada no processo de perfuração. As vistas de uma tela associadas com o modo do projeto são apresentadas nas figuras 4, 5A-5D, 6A-6I, 7A-7B, e 8A-8E. A segunda tecla virtual 404, etiquetada como "Log Mode", pode ser selecionada para operar o programa de modelação 310 num modo de registro (Log Mode) que compara os dados medidos de uma configuração de desenho BHA com várias configurações de desenho BHA modeladas, que podem operar sob condições idênticas de funcionamento (por exemplo parâmetros de

funcionamento). No modo de registro, os resultados dos dados medidos de um ou mais intervalos de perfuração são apresentados ao longo das previsões do modelo para avaliar os índices em relação aos dados reais. As vistas de uma tela específicas ao modo de registro estão apresentadas nas as figuras 9A-9D.

5 As opções de menu na barra de menu 406 podem incluir uma opção "Open / Change Project" para seleccionar uma configuração de desenho BHA existente ou uma opção "New Project" que pode inicializar uma configuração de desenho BHA nova, que pode ser em inglês ou em unidades métricas como as indicadas no sub-menu.

10 Se o modo de projeto é seleccionado, a vista de uma tela 500 de um painel em branco é apresentado, como o mostrado na figura 5A. O menu tab na barra de menu 502 é um "File" do menu tab habitual para permitir a impressão, definição de impressão, e comandos de saída, e uma configuração no menu tab designada "Config". A configuração no menu tab invoca o painel

15 de configuração como o mostrado na figura 5B. A barra de menu 502 pode também incluir um ou mais processos do modo de projeto, por exemplo "BHA", "Static States", "Index 2D", "Index 3D", "Flex Dynamics", "Twirl Dynamics ", e "Help". Estes itens de menu dos processos diferentes são abaixo explicados mais detalhadamente, mas o conceito de processamento é

20 para ser aplicado a cada um destes métodos nos desenhos BHA seleccionados para os quais as caixas de verificação 507a a 507f estão seleccionadas. Cada processo permite o controlo do uma tela e dos dados mostrados como os requeridos para o processo a ser executado, neste sentido o uma tela pode ser considerado "relacionado ao contexto".

25 Também, as teclas virtuais 506a a 506f podem ser utilizadas para aceder e modificar as diferentes configurações de desenho BHA. Neste exemplo, duas configurações de desenho BHA, que são a configuração "A" associada com a tecla virtual 506a e a configuração "B" associada com a tecla virtual 506b, são, teclas configuradas enquanto que as teclas virtuais 506c a

506f não têm a elas associadas configurações de desenho BHA. Também, o controle virtual das caixas de verificação 507a a 507f perto dos nomes das configurações de desenho BHA podem ser utilizadas para incluir configurações de desenho BHA específicas como parte dos cálculos do processo para comparar as configurações de desenho BHA. Como o indicado neste exemplo, a configuração "A" do desenho BHA, que pode ser denominada configuração A do desenho BHA, e a configuração "B" do desenho BHA, que pode ser denominada configuração B do desenho BHA, devem ser comparadas em vistas de uma tela diferentes abaixo providas.

Como o mostrado na figura 5B, se a "Config" do menu tab é selecionada na barra de menu 502, a vista de uma tela 510 pode ser apresentada para definir os parâmetros de funcionamento relevantes para o processo de modelação, como o que abaixo se descreve. Na vista de uma tela 510, o menu tab na barra de menu 512 pode ser utilizado para ajustar por defeito o tubo, o estabilizador, e as propriedades do material para inserir os novos componentes BHA no painel do desenho BHA. A barra de menu 512 pode incluir um menu tab de arquivo (etiquetado "File"), um menu tab regenerador (etiquetado "refresh"), e de menu tab por defeito (etiquetado "defaults"), que pode incluir vários sub-menus para os diferentes tipos de tubos, estabilizadores e materiais.

Em particular, para esta vista de uma tela exemplificativa 510, vários valores do desenho BHA e parâmetros de funcionamento são apresentados e podem ser modificados nas caixas de texto 514. As caixas de texto 514 incluem diâmetro do furo nominal em polegadas ($\text{in} = 2,54 \text{ cm}$); a inclinação do furo em graus (graus); a densidade de fluido em libras por galão ($\text{ppg} = 0,454 \text{ kg}/2,785 \text{ l}$); variação WOB em quilo-libras ($\text{klb} = 454 \text{ kg}$); a variação da velocidade de rotação em RPM; a variação do modo de excitação; a limitação do ponte final estático (por exemplo o deslocamento ou a centragem); a limitação na broca para a ligação dinâmica à flexura; o modelo

estabilizador (giratório ou fixo); o número de comprimentos finais; e o incremento do comprimento final em pés (ft= 0,305 m). Para os projetos que são especificados em unidades métricas, podem ser utilizadas as unidades métricas correspondentes.

5 Numa forma alternativa de realizar a invenção, o arquivo de configuração pode suplementar o ângulo de inclinação com o nível de mudança do ângulo de inclinação para furos dos poços curvados. Mais geralmente, para modelos tridimensionais, o nível de mudança do ângulo de azimute pode também ser incluído. Além de que um arquivo de uma
10 prospecção do poço pode ser identificado e lido pelo programa para prover os dados de entrada para modelar uma aplicação específica de perfuração.

 A descrição para cada uma das configurações de desenho BHA pode ser apresentada nas janelas do desenho BHA 506a a 506f na figura 5A. Como um exemplo, a figura 5C é uma vista de uma tela exemplificativo
15 de um painel de configuração para descrever a configuração A do desenho BHA, ao qual se acede seleccionando a janela 506a de desenho BHA. A vista de uma tela 520 inclui as diferentes caixas de controlo 521 para a configuração de desenho BHA específica, como por exemplo a configuração de desenho BHA denominada "A," a designação da cor "dark gray", o tipo de
20 linha "solid" e espaço de linha "2". Adicionalmente, uma caixa de texto adicional 522 pode ser utilizada para informação adicional, tais como "building bha". A barra de menu 512 do desenho BHA tem uma opção de menu "bha lio" para facilitar a importação e exportação das descrições do modelo BHA , um menu "defaults" para a seleção local por defeito do tubo,
25 do estabilizador, e propriedades do material, um menu "add.comp" para anexar elementos múltiplos ao topo da descrição do modelo, e uma opção de menu "view" para permitir o deslizamento do uma tela para aceder aos componentes BHA que na janela corrente não estão visíveis.

 As teclas virtuais 526, 527 e 528, juntamente com caixas de

edição 529 provêm mecanismos para modificar a apresentação do conjunto BHA para uma configuração de desenho BHA específica. Os componentes e o equipamento podem ser introduzidos e eliminados da apresentação BHA selecionados pressionando as teclas virtuais correspondentes, que estão inseridas na tecla virtual 526 etiquetada "ins" e na tecla de eliminação 527 etiquetada "del". As teclas virtuais 528 indicam o número do índice de elemento e se o elemento é um tubo ou um elemento estabilizador, que pode ser indicado por cores (por exemplo cinzento claro ou cinzento escuro) ou por texto (estab ou tubo). Pressionando uma das teclas virtuais 528 ativar/desativar um elemento desde um tubo até um estabilizador, ou vice-versa. O tubo por defeito atualmente selecionado ou tipo de estabilizador é fixado para o novo elemento de ativar/desativar. As caixas de edição 529 são iniciadas para a etiqueta da tabela dos respectivos dados de tabela que são lidos desde um arquivo, como por exemplo um arquivo em Microsoft ExcelTM, ou podem ser modificadas introduzindo diretamente os dados na caixa de texto. Escrevendo em cima das caixas de edição 529, a lista pode ser personalizada pelo utilizador. Clicando precisamente numa das caixas de edição 529 atualizamos uma janela automática no menu para selecionar qualquer dos elementos pré-existentes desse tipo, depois do qual os valores para OD, ID, e outros parâmetros podem ser pré-povoados. Quaisquer uma das caixas de edição 529 podem ser seguidamente modificadas depois de terem sido inicializadas desta maneira para prover um ajustamento personalizado dos componentes BHA.

Adicionalmente à especificação da apresentação da configuração de desenho BHA, a vista de uma tela 520 inclui informação do material para cada componente numa configuração de desenho BHA, como as mostradas nas caixas de texto 524. Neste exemplo específico, as caixas de texto 524 incluem o diâmetro externo (OD), o diâmetro interno (ID), o comprimento (len), o comprimento total (totlen), o momento de inércia

(mom.iner), o peso do ar (wt), o peso total do ar (totwt), o comprimento do gargalo (neck.len), o comprimento da lâmina (blade.len), o comprimento do perno (pin.lengt), a liberação do manômetro submerso da lâmina do estabilizador (blade/ug), a percentagem da área de abertura da lâmina (openarea), o coeficiente de atrito da lâmina para calcular o momento de torção a partir do contato da força lateral (bladefric), com o material (meti). O comprimento total, o peso total, e o momento da inércia são calculados pelo programa de modelação e não pelo utilizador, enquanto as outras caixas de texto 524 podem ser editadas pelo utilizador. Ainda, para modelar componentes pouco comuns, pode ser possível escrever em cima o valor do peso calculado para um componente dado. Por exemplo, se o peso total do componente é conhecido, então ele pode ser introduzido na respectiva caixa de texto 524 diretamente para substituir o valor na configuração de desenho BHA. O programa de modelação pode ajustar a densidade do material para que esta se corresponda com o valor introduzido por um utilizador baseada no OD, ID e comprimento total do componente. Este aspecto pode ser útil quando a correspondência dos valores da rigidez e de massa para os componentes que somente podem ser aproximados devido a certos fatores geométricos (por exemplo uma fresadora submersa com estrutura de corte colocada por cima do chanfro arredondado). Isto é, tanto os valores da inércia e da rigidez podem ser comparados apesar de que a geometria possa não estar bem representada por um objeto cilíndrico simples. Deste modo, uma seção cilíndrica equivalente pode ser gerada para aproximar as características dinâmicas do componente da perfuração real.

O programa de modelação pode incluir várias limitações para a colocação do componente específico no projeto BHA. Por exemplo, as conjuntos BHA podem ter que ser iniciadas com um elemento de broca de perfuração e uma extremidade com uma seção de tubo. Igualmente, pode que não seja permitido que os estabilizadores sejam os componentes do topo do

desenho BHA

Como outro exemplo, a figura 5D é uma vista de uma tela exemplificativa 530 de um painel de configuração para descrever a configuração B de desenho BHA, ao qual se acede seleccionando o desenho BHA tab 506b. A vista de uma tela 530 inclui caixas de controlo diferentes 531, como a configuração de desenho BHA específica com o nome "B", a cor designada como "light gray", o tipo de linha como "dash", e o espaço da linha "3". Adicionalmente, um comentário descritivo pode ser provido na caixa de texto 532. A vista de uma tela 530 inclui as mesmas teclas virtuais 526 e 527 da figura 5D, adicionalmente às caixas virtuais 538 e às caixas de texto 534 e 539, que são específicas para definir a configuração B do desenho BHA. Neste exemplo específico, a diferença entre A e B é a proximidade da broca ao estabilizador na configuração A do desenho BHA. Este componente tende a construir o ângulo de inclinação do poço para a configuração A do desenho BHA, enquanto que a ausência deste componente faz com que o ângulo diminua na configuração B do desenho BHA, como o abaixo descrito mais detalhadamente. Assim que os parâmetros e o desenho são especificados para as configurações de desenho BHA, as configurações de desenho BHA podem ser verificadas pelo utilizador observando a apresentação dos gráficos ou dos textos da configuração de desenho de BRA , como pode ser observado nas figuras 6A e 6B.

A figura 6A é uma vista de uma tela 600 da apresentação gráfica 602 e 604 das configurações de desenho BHA diferentes que foram obtidas seleccionando o menu 503 "BHA - Draw". Nesta vista de uma tela 600, a configuração A do desenho BHA e configuração B do desenho BHA, às quais se acederam seleccionando o desenho BHA tab 506a e 506b, são indicados como sendo graficamente apresentados pelas indicações das caixas de controlo virtuais 507a e 507b. Em particular, a apresentação gráfica 602 está associada com a configuração A do desenho BHA e a representação

gráfica 604 está associada com a configuração B do desenho BHA. Estas representações gráficas 602 e 604 representam a apresentação dos componentes dos respectivos desenhos.

Na figura 6A, as barras de deslizamento virtuais 605 a 607 podem ser utilizadas para ajustar a vista ao longo dos vários comprimentos das configurações de desenho BHA. Na presente forma de realizar a invenção as barras de deslizamento virtuais são mostradas como três elementos de deslizamento separados, um para controlar o lado esquerdo ou a parte de cima da janela, outro para controlar o lado direito ou a parte de baixo da janela, e um elemento de deslizamento central para permitir que a janela atual de abertura fixa possa ser movida juntamente com os eixos dos respectivos conjunto de dados. Outras barras de deslizamento serão possíveis sem que nos desviemos da funcionalidade deste processamento de dados.

Para prosseguir os cálculos estáticos, o menu tab 504 "Static States - Draw" é selecionado da barra de menu 502. Na figura 6B, a vista de uma tela 610 pode incluir a representação gráfica 612 e 614 das diferentes configurações de desenho BHA. As representações gráficas 612 e 614 apresentam as deflexões estáticas experimentadas pelas configurações de desenho BHA devido às cargas axiais e à gravidade. Nesta vista de uma tela 610, a representação gráfica 612 está associada com a configuração A do desenho BHA e representação gráfica 614 está associada com a configuração B do desenho BHA. Estas representações gráficas 612 e 614 ilustram o BHA encostado no lado de baixo do furo de sondagem, com a broca na extremidade esquerda do conjunto. As barras de deslizamento virtuais 605 a 607 e os tabs do desenho BHA 506a e 506b juntamente com as caixas de controlo virtual 507a e 507b podem funcionar como o acima discutido na figura 6A. Adicionalmente, as barras de deslizamento virtuais 616 e 618 podem ser utilizadas para ajustar o WOB e o ângulo de inclinação. Na presente forma de realizar a invenção, quando as barras de deslizamento virtual 616, 618, e

outros componentes análogos são ajustados, a representação dos valores correspondentes no painel "Config" da figura 5B são atualizados para sincronizar os vários componentes do programa de modelação que utilizam os mesmos valores do conjunto de dados. Depois de terem sido modificados, outros cálculos dos resultados e das imagens usam os valores atualizados que foram selecionados.

A partir dos estados estáticos da barra de menu, a opção de menu etiquetada "States" pode ser selecionada na barra de menu 504 para prover a vista de uma tela 620 da figura 6C. Na figura 6C, a vista de uma tela 620 apresenta os valores de estado correspondentes ao resultado do modelo estático das configurações A e B do desenho BHA correspondentes às deflexões indicadas na figura 6B. Em particular, as representações gráficas são a representação do deslocamento 622, a representação do ângulo de inclinação 623, a representação do ângulo do momento de flexão 624, e a representação da força de corte 625. As representações 622 a 625 apresentam a configuração A do desenho BHA como uma linha contínua, enquanto que a configuração B do desenho BHA é apresentada como uma linha tracejada mais grossa. As configurações de desenho BHA nas representações 622 a 625 são medidas em polegadas (in = 2,54 cm) para o deslocamento, em graus (graus) para o ângulo de inclinação, pés-libras (ft-lb = 0,305 m-0,454 k)) para momento de flexão, e libras (lb = 0,454 kg)) para a força de corte, e estes valores são marcados como função da distância desde a broca de perfuração em pés (ft = 0,305 m). Se as unidades do programa de modelação são especificados em unidades métricas ou outras unidades, estes valores podem ser apresentados nas respectivas unidades. As três barras de deslizamento vertical 626, 627, e 628 são utilizadas para ampliar numa margem específica ao longo dos eixos verticais dos gráficos, sendo os quatro gráficos atualizados simultaneamente enquanto que os deslizamentos são ajustados.

Neste exemplo, os valores da força lateral estática na broca

(distância à broca igual a zero) são valores úteis. Por exemplo, a configuração B do desenho BHA tem uma pequena força lateral negativa na broca, que tende a diminuir o ângulo de inclinação, e a configuração A do desenho BHA tem um valor positivo maior, que tende a aumentar o ângulo de inclinação.

5 Como o WOB e o ângulo de inclinação são variados, os valores atualizados são apresentados e podem ser repetidos selecionando de novo a ação desejada. Porque as computações podem necessitar um tempo específico para o seu processamento e pode ser necessário mudar diversos parâmetros antes de pedir uma atualização, sem um pedido do utilizador a variação dos parâmetros

10 de entrada no programa de modelação podem não resultar num novo cálculo dos resultados presentes numa tela. Este provê o utilizador com um maior controlo sobre os dados apresentados. No entanto, as variações deste protocolo são contempladas no âmbito da invenção.

Como pode ser apreciado, os resultados estáticos acima

15 descritos são úteis na determinação se as configurações de desenho BHA têm os valores estáticos apropriados antes de se proceder à análise dinâmica. Por exemplo, os resultados estáticos podem indicar que a força lateral na broca de perfuração tem um valor negativo, o que é uma informação útil para os poços verticais. Se o valor da força lateral negativa é um valor "razoável" (por

20 exemplo de várias centenas a milhares de quilogramas para colares de perfuração mais largos), as operações de perfuração utilizando a configuração de desenho BHA pode tender a reduzir qualquer aumento no poço ou no ângulo de furo. Este provê um BHA estável com uma força restauradora para preservar o ângulo vertical no furo. No entanto, se o valor da força lateral é

25 um valor progressivamente positivo para ângulos de inclinação superior, então o BHA pode ter uma tendência a aumentar o ângulo. Mais geralmente, as relações têm sido derivadas na Indústria entre a tendência BHA a aumentar ou diminuir o ângulo inclinação e os estados na broca, nomeadamente a força lateral da broca e o ângulo de inclinação relativamente ao eixo do furo de

sondagem.

Adicionalmente aos cálculos estáticos e de análise, podem também ser executados os cálculos dinâmicos. Por exemplo, dois tipos de cálculos dinâmicos podem ser referidos como modo "flex" para a ligação
5 dinâmica à flexura no plano lateral e o modo "twirl" para o movimento resultante de rodopio a partir dos efeitos de massa excêntrica, como o acima descrito mais detalhadamente. Estes cálculos dinâmicos diferentes podem ser opções providas na barra de menu 502 que pode ser invocado com o menu tab "Flex Dynamics" e "Twirl Dynamics", respectivamente.

10 Como um exemplo, a figura 6D é uma vista de uma tela exemplificativa 630 das representações gráficas 631 a 634 baseadas nos cálculos do modo na ligação lateral à flexura no modo dinâmico de flexão. A vista de uma tela 630 é obtida selecionando no menu 502 "Flex Dynamics - Flex States". Estas representações gráficas são uma representação do
15 deslocamento 631, uma representação do ângulo de inclinação 632, uma representação do momento de flexão 633, e uma representação da força de corte 634. As representações 631 a 634 apresentam a configuração A de desenho BHA como uma linha continua, enquanto a configuração B de desenho BHA é apresentada como uma linha tracejada mais grossa. As
20 configurações de desenho BHA nas representações 631 a 634 são calculadas em polegadas ($\text{in} = 2,54 \text{ cm}$) para o deslocamento, em graus (graus) para o ângulo de inclinação, em pés-libras ($\text{ft-lb} = 0,305 \text{ m} \cdot 0,454 \text{ kg}$) para momento de flexão, e libras ($\text{lb} = 0,454 \text{ kg}$) para a força de corte versus distância desde a broca de perfuração em pés ($\text{ft} = 0,305 \text{ m}$). No entanto, as unidades não são
25 apresentadas porque estes valores são calculados para uma referência arbitrária dos dados de entrada da excitação e neste sentido são valores relativos.

Mais geralmente, os valores absolutos e as unidades correspondentes nos modos dinâmicos não são significativos porque o

objetivo destes cálculos é o de determinar os valores quantitativos relativos que comparam dois ou mais desenhos BHA. Assim, para os mesmos dados de entrada de excitação, a resposta relativa é para ser determinada para cada configuração de desenho BHA. Na figura 6D, as linhas tracejadas respondem com uma amplitude mais alta do que a linha contínua, e assim, para estas condições (por exemplo um ângulo de 12 graus, 20 klb WOB, 100 RPM, e um modo de excitação para cada velocidade de rotação), a configuração B de desenho BHA tem uma tendência para vibrar mais do que a configuração A do desenho BHA.

Para ajustar a representação 631 a 634, as barras de deslizamento virtual, como a barra de deslizamento de inclinação do furo 616, a barra de deslizamento WOB 618, a barra de deslizamento RPM 636, e a barra de deslizamento do modo de excitação 637, podem ser utilizadas para ajustar os parâmetros de funcionamento para modo de flexão de estado dinâmico calculados. Por exemplo, como o mostrado na figura 6D, os valores do parâmetro para as barras de deslizamento 616, 618, 636 e 637 são indicados pelos valores associados com as respectivas barras de deslizamento 616, 618, 636 e 637 (por exemplo o ângulo é 12°, o WOB é 20 klbs, o RPM é 100, e o modo é 1). As respostas do vetor de estado (por exemplo as linhas nas representações gráficas 631 a 634) são calculadas para este conjunto de parâmetros de funcionamento. Consequentemente, se uma análise comparativa para um conjunto diferente de valores do parâmetro é desejada, as barras de deslizamento 616, 618, 636 e 637 são utilizadas para ajustar os parâmetros a outro conjunto de valores a serem modelados. As respostas do vetor de estado podem ser novamente calculadas e mostradas para todas as configurações de desenho BHA selecionadas.

Além das apresentações em duas dimensões (2D), os valores ou parâmetros respectivos podem ser utilizados para gerar apresentações em três dimensões (3D). Por exemplo, a figura 6E é uma vista de uma tela

exemplificativa 640 de uma representação 3D dos cálculos do modo dinâmico da flexão que foram obtidos controlando na barra de menu 502 a opção "Plot 3D". Nesta vista de uma tela 640, a representação gráfica 641 é a da configuração A de desenho BHA e a representação gráfica 642 é a da configuração B de desenho BHA. Cada uma das representações 641 e 642 apresentam uma representação 3D das variações dos parâmetros RPM desde valores mínimos até valores máximos específicos (por exemplo o ângulo é 12°, o WOB é 20 klbs, e o modo de excitação é 1). Para cada uma destas seleções, os valores de estado marcados são selecionados da lista de deslocamento, do ângulo de inclinação, do momento de flexão, e da força de corte, selecionados do menu que aparece quando é escolhido "Flex Dynamics - Flex by State (ali BHAS)". As variáveis de estado são fixadas versus distância desde a broca, no WOB específico, e com RPM variável. Os eixos das representações 641 e 642 podem ser rodados na mesma ou maneira idêntica à perspectiva correta. Também, as barras de deslizamento virtual, como a barra de deslizamento virtual horizontal 643 e a barra de deslizamento virtual vertical 644, podem ser utilizados para rodar as imagens para perspectivas alternativas. Isto é útil para visualizar regiões de resposta nula para as quais as vibrações foram previstas para serem baixas dentro de uma variação RPM ao longo da totalidade do comprimento do BHA.

A figura 6F é uma vista de uma tela exemplificativa 645 de uma representação de um gráfico de contorno em 3D das configurações de desenho BHA no modo de flexão dinâmica, obtida controlando a opção "Contours" da opção de menu da flexão dinâmica e selecionando seguidamente a variável de estado apropriada para visualizar. Nesta vista de uma tela 645, o desenho gráfico 646 é o da configuração A de desenho BHA e o desenho gráfico 647 é o da configuração B de desenho BHA. Os dados utilizados para prover estes desenhos 646 e 647 são os mesmos que os utilizados nos desenhos 641 e 642 da figura 6E. Nesta vista de uma tela 645, a

sombra do contorno para cada um dos desenhos 646 e 647 pode ser marcada para ser igual de forma a que os valores máximos sejam imediatamente evidentes com uma inspeção a olho nu. O contorno do desenho 646 e 647 apresenta as amplitudes da variável de estado como função de distância desde a broca de perfuração em pés no eixo x versus velocidade de rotação em RPM no eixo y para as configurações A e B de desenho BHA nos parâmetros respectivos. Alternativamente, se desejável os eixos podem ser trocados.

Adicionalmente aos cálculos dinâmicos do modo da flexão, os cálculos do modo de rotação podem também ser providos para avaliar a sensibilidade da configuração de desenho BHA para os efeitos de massa excêntrica, como os mostrados nas figuras 6G-6I. Porque os cálculos de rotação aplicados a condições de carga de massa excêntrica, que está sincronizada com a velocidade de rotação (isto é, apenas se dá ao mesmo tempo que a velocidade de rotação), as figuras 6G-6I não incluem os parâmetros do modo de excitação (por exemplo o modo da barra de deslizamento 637). Como um exemplo específico dos cálculos de rotação, a figura 6G é um vista de uma tela exemplificativa 650 das representações gráficas 651 a 654 baseadas no modo dinâmico de rotação, obtidas selecionando no menu tab ou barra de menu 502 " Twirl Dynamics - Twirl States". Nesta vista de uma tela 650, as representações gráficas são uma representação do deslocamento 651, uma representação do ângulo de inclinação 652, uma representação do momento de flexão 653, e a representação da força de corte 654. As representações 651 a 654 apresentam a configuração A do desenho BHA como uma linha contínua, enquanto que a configuração B do desenho BHA é apresentada com uma linha tracejada mais grossa. A discussão em relação às unidades para a figura 6D é idêntica à discussão da figura 6G (por exemplo os valores numéricos são significativos relativos, base de comparação).

A figura 6H é uma vista de uma tela exemplificativa 660 de

uma representação em 3D das configurações de desenho BHA no modo de rotação para controlar a opção de menu "Plot 3D" do menu tab de dinâmicas de rotação e seguidamente escolhendo esta representação. Nesta vista de uma tela 660, a representação gráfica 661 é o da configuração A do desenho BHA e a representação gráfica 662 é o da configuração B de desenho BHA. Cada uma das representações 661 e 662 apresenta uma representação em 3D das variações RPM desde valores mínimos até valores máximos específicos (por exemplo desde 40 até 100 RPM) para a resposta BHA ao longo do comprimento do conjunto, para os valores paramétricos ilustrados (por exemplo o ângulo de inclinação é 12° e o WOB é 20 klbs). Exatamente como no exemplo da figura 6E, os valores de estado fixados foram escolhidos a partir da lista de deslocamento, do ângulo de inclinação, do momento de flexão, e da força de corte quando é escolhida a seleção de menu "Twirl Dynamics - Twirl by States (all BHAS)". Os eixos da representação 661 e 662 podem ser rodados da mesma maneira ou de maneira idêntica à da própria perspectiva. Também, as barras de deslizamento virtuais, como por exemplo a barra de deslizamento virtual horizontal 643 e a barra de deslizamento virtual vertical 644, podem ser utilizadas para rodar as imagens na representação 661 e 662 para perspectivas alternativas de maneira idêntica às discussões acima para a figura 6E.

A figura 6I é uma vista de uma tela exemplificativa 670 de uma representação 3D das configurações de desenho BHA no modo dinâmico de rotação, obtida controlando a opção da barra de menu "Contours" no menu tab dinâmicas de rotação, selecionando a representação "Twirl Dynamics - Twirl by States (all BHAS)", e escolhendo o estado a ser visto. Nesta vista de uma tela 610, a representação gráfica 671 é a da configuração A do desenho BHA e a representação gráfica 672 é a configuração B do desenho BHA. Os dados utilizados para prover estas representações 671 e 672 são os mesmos que os utilizados nas representações 661 e 662 da figura 6H. Nesta vista de

uma tela 670, a sombra de contorno é novamente estabelecida para ser idêntica de forma a que os valores máximos sejam rapidamente evidentes a uma inspeção a olho nu. A representação do contorno 671 e 672 apresenta as amplitudes de resposta do estado variável como função da distância desde a broca de perfuração em pés no eixo x versus velocidade de rotação em RPM no eixo y para as configurações A e B do desenho BHA nos valores do parâmetro ilustradas. Alternativamente, se desejável os eixos podem ser trocados.

Para representar todos os estados para uma única configuração de desenho BHA, as opções de menu "Flex Dynamics - Flex by BHA (all states)" podem ser selecionadas da barra de menu 502, seguidas da seleção do BHA específico de uma lista de menu. Com "Plot 3D" selecionado, a vista de uma tela 700 da figura 7A é gerada para o modo de flexão. Controlando a opção de menu "Contours" e selecionando esta saída, será gerada a vista de uma tela 710 da figura 7B. De maneira idêntica, podem também ser obtida as representações em 3D correspondentes para o modo de rotação.

Mais detalhadamente, a figura 7A é uma vista de uma tela exemplificativa 700 de uma representação em 3D da configuração A de desenho BHA para o modo dinâmico da flexão. Nesta vista de uma tela 700, as representações gráficas em 3D são uma representação do deslocamento 701, uma representação do ângulo de inclinação 702, uma representação do momento de flexão 703, e uma representação da força de corte 704. Cada uma das representações 701 a 704 apresenta uma representação em 3D dos estados como funções de RPM e distância à broca de perfuração, para os respectivos valores dos parâmetros do ângulo do furo, do WOB, e do modo de excitação. É de notar que o modo não é aplicável ao caso de rotação. Consequentemente, as representações 701 a 704 podem ser utilizadas para localizar regiões vantajosas de funcionamento (por exemplo ajustamentos do parâmetro de funcionamento que reduzem as vibrações) para as configurações de desenho

BHA candidatas e para examinar as relações entre as variáveis de estado para uma configuração de desenho BHA dada. Também, as barras de deslizamento virtuais como por exemplo a barra de deslizamento virtual horizontal 643 e a barra de deslizamento virtual vertical 644, podem ser utilizadas para rodar as
5 imagens para perspectivas alternativas, como o acima descrito.

A figura 7B é uma vista de uma tela exemplificativa 710 de uma representação de um mapa de contorno para a configuração de desenho BHA selecionado no modo dinâmico de flexão ou rotação, como o apropriado. Esta representação é obtida controlando a opção na barra de menu
10 502 "Contours" e selecionando seguidamente o item do menu apropriado para os modos de flexão e de rotação. Nesta vista de uma tela 710, as representações gráficas em 3D são uma representação do deslocamento 711, uma representação do ângulo de inclinação 712, uma representação do momento de flexão 713, e a representação da força de corte 714. Cada uma
15 destas representações 711 a 714 pode estar baseada nos mesmos dados que os utilizados nas representações 701 a 704 da figura 7A.

A seleção no menu tab na barra de menu 502 "Index 2D" provê as opções de menu adicionais "Flex 2D", "Twirl 2D", e "Bharez Plot", como o ilustrado na vista de uma tela 800 da figura 8A. A seleção de uma
20 destas opções do menu pode originar o painel de informação 810 ilustrado na figura 8B que é representado enquanto são executados os cálculos do índice (habitualmente pouco mais de que alguns minutos). Os cálculos ou as simulações são executadas para o ângulo de inclinação e WOB indicados, para as variações requeridas da variação RPM e modo de excitação
25 especificadas, para cada uma das configurações BHA selecionadas. Depois de cada ação de simulação para um conjunto de parâmetros dados, os resultados são guardados na memória e podem ser utilizados para calcular o desempenho da vibração dinâmica ou os índices como o acima descrito. Quando os cálculos estiverem completados, a figura 8B é fechada e os resultados do

índice de desempenho para a saída de ligação lateral do modo de flexão é provido por defeito, como o visto na representação 820 da figura BC. As opções de menu "Flex 2D" e "Twirl 2D" podem ser posteriormente utilizadas para representar estes resultados, e a opção de menu "Bharez Piot" pode ser utilizada para representar somente o valor do índice de curvatura do ponto final para compatibilidade com um programa de modelação anterior.

Assim que os cálculos estão completos, os resultados do índice de vibração ou respostas como função da velocidade de rotação são apresentados na vista de uma tela 820 da figura 8C. Nesta vista de uma tela 820, quatro índices de desempenho de vibração 822 a 825 são mostrados em relação aos valores RPM para um WOB fixo de 20 klbs e utilizando modos até 6. Referindo uma vez mais os cálculos do índice de desempenho acima discutidos, a resposta do índice de vibração 822 corresponde aos valores do índice de energia de deformação transmitida RMS; a resposta do índice de vibração 823 representa os resultados para os valores do índice de energia da deformação BHA; a resposta do índice de vibração 824 corresponde aos valores do índice de curvatura do ponto final RMS; e finalmente a resposta do índice de vibração 825 representa os valores do índice da força lateral do estabilizador RMS BHA ou, alternativamente um dos valores do índice do momento de torção dinâmico BHA. Nestas representações, as linhas 822a, 822b, 823a, 823b, 824a, 824b, 825a e 825b correspondem aos resultados da configuração A do desenho BHA, e as linhas 822c, 822d, 823c, 823d, 824c, 824d, 825c e 825d indicam os resultados da configuração B do desenho BHA. Além de que as linhas mais grossas ("a" e "c") são os valores das médias RMS determinadas nos cálculos de vários comprimentos finais e o modo de excitação para o modo de flexão (lembrar que o modo de rotação é somente calculado para o modo de excitação para cada uma da velocidade de rotação, e as linhas mais finas ("b" e "d") indicam os resultados do índice máximo do "pior caso". Se a excitação é ela própria sustentada na condição de pior caso,

então este valor é uma medida de quanto prejudicial esta condição pode ser para o BHA. Nestes gráficos 822 a 825, deve ser referido que os resultados para a configuração A do desenho BHA são geralmente mais baixos dos que os da configuração B do desenho BHA. Assim, é esperado que a configuração A do desenho BHA deverá exibir uma resposta vibracional mais baixa do que a configuração B do desenho BHA porque a resposta para a configuração A BHA é mais baixa do que para a configuração B BHA em condições de excitação da broca idênticas (isto é, as mesmas cargas de broca dinâmica aplicadas e os mesmos modos de excitação).

O conjunto das barras horizontais 828 na figura 8C são um auxiliar de diagnóstico para examinar se quaisquer dificuldades de convergência foram encontradas para quaisquer um dos modos de excitação. A etiqueta, que pode ser de cor, à esquerda das barras 828 indicam quais os BHA que estas barras 828 representam. Se a barra é toda branca (como a mostrada neste exemplo), então todos os modos requeridos foram processados com êxito para a completação. Se sombreada a cinzento claro, então um modo (geralmente o nível de modo de excitação mais alto) falhou para convergir e o modo de não convergente é omitido dos resultados. Se sombreada com cinzento escuro, então dois ou mais modos foram omitidos, e deste modo o utilizador é avisado de que alguma é necessária mais alguma investigação para modificar os parâmetros para restaurar a convergência.

Para os cálculos do modo de flexão dinâmica, os valores RMS e máximos são baseados nas várias combinações de modos e comprimentos finais, mas para os cálculos dinâmicos de rotação os valores RMS e máximos são somente baseados nos vários comprimentos finais. Os valores dos índices resultantes para uma variação de velocidades de rotação das representações gráficas 822 a 825 indicam as condições de funcionamento, e através da inspeção a olho nu provêem a variação de funcionamento eficaz específica ou "ponto ótimo" das configurações de desenho BHA. Esta variação de

funcionamento eficaz pode ser encontrada como um intervalo de 5-10 RPM (ou mais) para que a resposta seja aproximada a um mínimo. Alguns exemplos apresentam tendências de respostas de mínimos maiores que outros. Neste exemplo, a configuração A do desenho BHA é preferida em relação à configuração B do desenho BHA através da totalidade da variação RPM. Se é utilizada a configuração B do desenho BHA, pode haver uma região preferida à volta de 80 RPM em que a curva 822c do índice de energia de deformação transmitida RMS tem um ligeira depressão.

Os resultados para os cálculos do modo de rotação são representados na vista de uma tela 830 da figura 8D para os quais os cálculos dos índices correspondentes são mostrados. Na vista de uma tela 830, a resposta do índice de vibração 832 corresponde aos valores do índice de energia da deformação transmitida RMS; a resposta do índice de vibração 833 ilustrado representa os valores do índice de energia de deformação BHA; a resposta do índice de vibração 834 corresponde aos valores do índice de curvatura do ponto final RMS; e finalmente a resposta do índice de vibração 835 refere-se aos valores do índice da força lateral BHA RMS ou, alternativamente um dos valores do índice do momento de torção dinâmico BHA. A figura 8D mostra até que ponto esta forma da resposta de modelação pode ser quadrática. O elemento de matriz para a massa excêntrica inclui a velocidade de rotação quadrada como uma entrada de força direta como o acima descrito.

Os resultados para os resultados de configuração BHA individual específica podem ser alargados para preencher a área de uma tela disponível, como o mostrado na vista de uma tela 840 na figura 8E. Na vista de uma tela 840, o índice de curvatura do ponto final é representado para a configuração A de desenho BHA. Este foi obtido seleccionando a opção de menu "Bharez Plot" na barra de menu 502. Os valores do índice modo de flexão RMS estão marcados como resposta 842, os valores do modo de flexão

máximo estão representados pela resposta 844, e os valores de rotação RMS são providos na resposta 846.

Adicionalmente às representações do índice de vibração comparáveis aos dos índices para outros modos, como por exemplo vibrações axiais e de torção, podem também ser providas. Consequentemente, deverá ser apreciado que as representações comparáveis dos índices de vibração podem ser providas para facilitar a comparação de tendências de vibração entre configurações de desenho BHA diferentes, assim como para comparar as respostas a frequências diferentes de outros modos de vibração. Por exemplo, este programa de modelação pode ser utilizado para prover configurações de desenho BHA com variações de funcionamento eficazes com níveis baixos de resposta de vibração em todos os modos, incluindo respostas flexionais, rotativas, giratórias, axiais, e de torção. A combinação das presentes técnicas com outros modelos conhecidas na técnica é provavelmente uma extensão útil desta técnica, e esta é incluída dentro de um método genérico descrito na presente invenção.

Na segunda aplicação do método, pode-se aceder ao "Log Mode" desde a vista de uma tela 400 seleccionando a segunda tecla virtual 404 da figura 4. Se o modo de registro é seleccionado, uma vista de uma tela 900 de um painel em branco é apresentado, como o mostrado na figura 9A. O menu tabs na barra de menu 902 é um tab de menu de arquivo, que é etiquetado "File" para impressão, definição de impressão, e saída. A configuração do menu tab, que é etiquetado "Config", invoca o painel de configuração 510 ilustrado na figura 5B. Como o acima discutido, numa forma alternativa de realizar a invenção, a informação da configuração pode incluir o nível de mudança de inclinação ou ângulos de azimute e, mais geralmente, dados da prospecção do poço para avaliar a resposta de perfuração dinâmica para geometrias de poço variáveis. O menu 902 inclui:

uma opção de menu "Log File" para configurar um conjunto

de dados de entrada a partir dos dados de entrada do campo em funcionamento como o ilustrado na figura 9B e como o abaixo discutido;

um menu tab etiquetado "Bitruns" para invocar um painel para definir a profundidade BHA na profundidade do furo, como o mostrado na
5 figura 9C; e

um menu tab de cálculo, que é etiquetado "Calculate".

Também mostradas nesta vista de uma tela 900, as teclas virtuais 906a a 906f podem ser utilizadas para aceder às diferentes configurações de desenho BHA, que é idêntica à discussão anterior. Neste
10 exemplo, duas configurações de desenho BHA, que são a configuração "A" associada à tecla virtual 906a e a configuração "B" associada à tecla virtual 906b são configuradas, enquanto que as teclas virtuais 906c a 906f não têm configurações de desenho BHA a elas associadas. Estas teclas realizam funções idênticas às das teclas 506a a 506f da figura 5A.

15 Para importar os dados registrados, um arquivo de entrada é selecionado utilizando o menu tab Log File para obter os dados previamente definidos. Como o mostrado na figura 9B, uma vista de uma tela 910 apresenta os dados registrados ordenados em várias colunas de caixas de texto 912. Em particular, para este exemplo, os dados registrados estão ordenados
20 por colunas quanto à profundidade, WOB, RPM, ROP, e caixas de texto MSE. Os dados nestas caixas de texto diferentes podem ser programados com um formato de arquivo específico, como por exemplo o Microsoft ExcelTM. Os dados registrados, em formas preferidas de realizar a invenção, podem incluir um índice sequencial (profundidade ou tempo), WOB, e RPM.
25 Adicionalmente, nesta vista de uma tela 910, os dados adicionais, como por exemplo ROP (velocidade de perfuração) e energia específica mecânica (MSE), são também providas. Depois de que o programa de modelação obtenha os dados previamente definidos, as variáveis (por exemplo WOB, RPM, ROP, MSE, etc.) podem ser marcadas versus profundidade. No entanto

deve ser referido que em implementações diferentes, os conjuntos de dados diferentes dos dados registrados podem ser disponíveis para serem comparados com valores os previstos. Por exemplo, os outros conjuntos de dados podem incluir as medições no furo de fundo de poço ou à superfície das vibrações, os dados da formação ou da propriedade da rocha, os dados do perfil do poço, os dados do perfil da lama, assim como qualquer outro parâmetro que seja provido como função de profundidade e/ou de tempo. Na forma preferida de realizar a invenção, o menu tabs pode incluir opções de menu que acedem ao processo para converter diretamente os dados em bruto de um campo desde um formato vendido por um fornecedor de software para um formato compatível, calcular os dados MSE a partir das entradas de dados e compará-los com os dados MSE gerados no campo, e importar um conjunto de dados que tenham sido convertidos a partir dos dados do campo a um formato similar ao 910 para a sua introdução no programa de modelação em questão.

Seguidamente, o menu tab "Bitruns" da barra de menu 902 pode ser selecionado para associar os dados registrados importados a uma configuração de desenho BHA para cada intervalo de profundidade, como o mostrado na figura 9C. Na figura 9C, é provida uma vista de uma tela 920 do painel dos dados "Bitruns". A vista de uma tela 920 pode incluir uma barra de menu 921 juntamente com teclas virtuais 906a a 906f, que abrem os painéis da descrição BHA idênticos aos acima discutidos nas figuras 5C e 5D. Consequentemente, utilizando estas teclas virtuais, cada uma das configurações de desenho BHA podem ser vistas, atualizadas, ou criadas.

A vista de uma tela 920 inclui teclas virtuais para adicionar e eliminar as entradas da linha de brocagem, como por exemplo as teclas virtuais de inserção 922 etiquetadas "ins" e teclas virtuais de eliminação 923 etiquetadas "dei". As teclas virtuais 922 e 923 provêm um mecanismo para modificar os intervalos de profundidade da brocagem, a atribuição das

configurações do projeto BHA a intervalos de profundidade específica, e por outro lado controlam os cálculos que serão conduzidos na fase de processamento seguinte. Por exemplo, as caixas de texto da variação da profundidade, como por exemplo a profundidade na caixa de texto 924 etiquetada "Depth In" e a profundidade nas caixas de texto 925 etiquetadas "Depth Out", podem ser introduzidas para cada uma das configurações de desenho BHA que estão em funcionamento no campo para que o desenho relevante seja associado com as medições dos dados de funcionamento do campo correspondente. A vista de uma tela 920 inclui ainda as teclas 926 para selecionar a configuração de desenho BHA específica para cada linha de entrada, ilustrar a cor designada (por exemplo "light gray" ou "dark gray") como o mostrado nas caixas de texto a cores 927. Além de que, vista de uma tela 920 inclui uma área para representar o comentário associado às caixas de texto 928.

Logo que esteja configurado, o menu tab "Calculate" pode ser selecionado na barra de menu 902. Quando o menu tab de cálculo é selecionado, as previsões do modelo são conduzidas por parâmetros de funcionamento a partir dos dados registrados importados, utilizando a respectiva configuração de desenho BHA para cada intervalo. Os índices de desempenho da vibração dinâmica resultante podem ser representados quando os cálculos estejam completos ou enquanto eles estão a ser gerados. Na figura 9D é provido um exemplo desta representação gráfica. Na figura 9D, uma vista de uma tela 930 apresenta os resultados do modelo previsto fixado ao longo de outros valores do campo, com uma barra de cor a cheio 936 para ilustrar a configuração de desenho BHA selecionada para cada intervalo de profundidade. Isto é, o processamento baseado no registro provê a representação do diagnóstico 932 a 935 do funcionamento representativo e os parâmetros medidos (por exemplo aplicado WOB 932 em klbs, velocidade de rotação aplicada 933 em RPM, resposta ROP 934 em ft/hora, e resposta MSE

935 em unidades de tensão). Estes valores são fixados versus profundidade, que estão representados ao longo do eixo vertical 931. Os vários índices de desempenho da vibração para os cálculos do modo de ligação lateral de flexura são mostrados à direita da barra de seleção BHA 936, como por exemplo: o índice de energia da deformação transmitida 937, o índice de energia da deformação BHA 938, o índice da força lateral BHA 939, e o índice de curvatura do ponto final (isto é "Bharez") 940. Os quatro valores dos índices correspondentes para os cálculos do modo de rotação estão representados em 941 e 942. As barras de deslizamento virtuais 952 a 954 permitem que seja ajustado nas representações o intervalo de profundidade.

A marcação dos resultados previstos no formato de registro provê a percepção no estado de vibração das conjuntos de perfuração e facilita a compreensão dos resultados do modelo versus os dados registrados medidos. Consequentemente, ela modela as condições experimentadas no interior de um poço para aumentar ou diminuir as vibrações. Adicionalmente, as presentes técnicas provêm representações gráficas dos níveis de vibração que são refletidos nas mudanças em parâmetros, tais como, ROP MSE, e quaisquer outras medições de vibração adquiridas no campo. Os dados adicionais providos podem incluir os dados do perfil do poço, as propriedades de formação, a propagação acústica, a litologia, e quaisquer outros parâmetros derivados como os valores da dureza da formação ou valores de tensão calculados a partir dos registros acústicos dipolares, etc. As previsões do índice de vibração adicional podem também incluir, modos de vibração axial, torsional e/ou vibração de deslizamento às sacudidelas que podem ser providos por quaisquer outros modelos convencionais conhecidos na Indústria.

Vantajosamente o programa de modelação no modo de registro e métodos acima descritos pode ser utilizado para prover uma maior percepção no funcionamento das conjuntos BHA no interior de um poço. De

fato, a experiência adquirida com a aplicação das ferramentas de desenho de modelação descritas na presente invenção proverão a informação e as percepções no que se refere aos métodos de controlo de vibração obtidos via modificação para a prática de desenho BHA. Estes ensinamentos serão na

5 forma de uma compreensão aumentada das configurações preferidas para evitar a geração de vibração, assim como práticas respeitantes à utilização de equipamento de perfuração especializado como por exemplo uma broca alargadora, cilindros alargadores, equipamento direcional rotativo, brocas bi-diamétrais e outros tipos de brocas novas, estabilizadores novos, composições

10 de material diferente, e outro equipamento de perfuração aperfeiçoado. A aplicação destas técnicas de desenho quantitativo permite à Indústria progredir para além das suposições de desempenho dinâmica BHA para desenvolver práticas que utilizam a análise comparativa de desenhos BHA alternativos.

15 Numa forma de realizar a invenção este processo pode ser utilizado com o fluxograma 100 da figura 1. Como um exemplo específico, no bloco 112 da figura 1, os dados medidos podem ser comparados com os dados calculados para uma configuração de desenho BHA selecionada. Seguidamente, um novo desenho da configuração de desenho BHA pode ser

20 executado com umas ou mais configurações de desenho BHA adicionais. Estas configurações de desenho BHA adicionais podem incluir vários melhoramentos à medida para enfrentar certos limitadores indicados dos dados medidos, como por exemplo os dados VISE, ROP WOB, deslizamento às sacudidelas, ou os dados vibracionais. Seguidamente, uma das

25 configurações de desenho BHA pode ser selecionada para ser utilizada na perfuração do poço. Desta forma, o limitador pode ser removido ou reduzido para aumentar o ROP das operações de perfuração.

Enquanto as presentes técnicas da invenção podem ser susceptíveis de várias modificações e formas alternativas, as formas de

realizar a invenção exemplificativas acima discutidas foram mostradas a título de exemplo. No entanto, deverá ser novamente entendido que a invenção não está destinada a estar limitada às formas particulares de a realizar aqui descritas. De fato, as técnicas da presente invenção são para abranger todas as

5 modificações, equivalentes, e alternativas dentro do espírito e âmbito da invenção como o definido pelas reivindicações anexas seguintes.

REIVINDICAÇÕES

1. Método de modelar equipamento de perfuração para representar desempenho de vibração do equipamento de perfuração o método caracterizado pelo fato de compreender:

5 construir uma ou mais configurações de projeto, em que cada uma das configurações de projeto representa pelo menos uma parte de um conjunto de perfuração incluindo um conjunto de furo de fundo (BHA) e uma coluna de perfuração;

10 calcular um mais índices de desempenho que caracterizam o desempenho em vibração do uma ou mais configurações de projeto, em que o desempenho em vibração é medida por pelo menos uma de; (a) vibrações transmitidas a partir de uma seção de BHA inferior para uma seção de BHA superior e (b) energia de deformação por vibração do BHA; e

15 usar os índices de desempenho calculados da uma ou mais configurações de projeto para selecionar um ou mais componentes do equipamento de perfuração a ser usado ao se perfurar um poço.

20 2. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a pelo menos uma configuração de projeto compreende duas ou mais configurações de projeto e em que usar os índices de desempenho calculados compreende exibir simultaneamente os índices de desempenho calculados para as duas ou mais configurações de projeto.

3. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que calcular um ou mais índices de desempenho para a uma ou mais configurações de projeto compreende:

25 gerar um modelo matemático para cada uma da uma ou mais configurações de projeto;

 calcular resultados do modelo matemático para os parâmetros de operação e condições de contorno especificados;

 identificar um mais dentre deslocamento, ângulo de inclinação,

momento de flexão, e força de cisalhamento de viga a partir dos resultados do modelo matemático;

determinar vetores de estado e matrizes a partir das saídas identificadas do modelo matemático; e

5 usar um mais vetores de estado e matrizes para determinar pelo menos um índice de desempenho de vibração.

4. Método de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pelo fato de que um modelo de elemento finito bidimensional ou tridimensional é usado para calcular resultados do modelo, a partir dos quais vetores de estado
10 e matrizes podem ser identificados.

5. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que calcular um mais índices de desempenho para a uma ou mais configurações de projeto compreender

15 gerar um modelo de parâmetro concentrado da uma ou mais configurações de projeto, em que o modelo de parâmetro concentrado tem uma estrutura das respostas de vetor de estado e funções de matriz de transferência;

determinar uma função de transferência de elemento de massa e uma função de transferência do elemento de viga para uso no modelo;

20 determinar condições de contorno e uma excitação do sistema para uso no modelo; e

usar o modelo de parâmetro concentrado para gerar o um mais índices de desempenho.

6. Método de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelo
25 fato de que o um ou mais índices de desempenho compreendem qualquer quantidade escalar derivada das respostas de vetor de estado, assim obtidas para cada conjunto de condições de contorno e excitação do sistema.

7. Método de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pelo fato de que os parâmetros de operação e condições de contorno compreendem

um primeiro conjunto de modelação e um segundo conjunto de modelação, o primeiro conjunto de parâmetros de operação e de condições de contorno é usado para modelar pelo menos um dentre flexão estática, flexão lateral, dinâmicas e turbilhonamento excêntrico e o segundo conjunto de parâmetros de operação e condições de contorno é usado para modelar um outro dentre, flexão estática, flexão lateral dinâmica e turbilhonamento excêntrico.

8. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que compreende ainda

identificar parâmetros de operação e condições de contorno; e
comparar valores da variável de estado nos resultados para as duas ou mais configurações de projeto, em que as duas ou mais configurações de projeto são submetidas a uma excitação do sistema substancialmente similar.

9. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o um ou mais índices de desempenho compreendem um ou mais de um índice de energia da deformação do BHA, um índice de energia da deformação transmitida médio, um índice de energia da deformação transmitida, um índice de força lateral de BHA de valor quadrático médio, um índice de torque de BHA de valor quadrático médio, um índice de força lateral de BHA total, um índice de torque de BHA total, e qualquer combinação matemática dos mesmos.

10. Método de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que o índice de energia da deformação de BHA é definido pela equação:

$$PI = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L \frac{M_i^2}{2(EI)_i}$$

em que PI é o índice de energia da deformação de BHA, L é o índice do último elemento numa seção inferior de cada uma das configurações de projeto, i é o índice do elemento em cada uma das configurações de projeto, M_i é o momento de flexão do i -ésimo elemento em cada uma das

configurações de projeto, e $(EI)_i$ é a rigidez em flexão do i -ésimo elemento.

11. Método de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que o índice de energia da deformação transmitida média é definido pela equação:

$$PI = \frac{1}{(N - U + 1)} \sum_{i=U}^N \frac{M_i^2}{2(EI)_i}$$

5 em que PI é o índice de energia da deformação transmitida média, i é o índice do elemento em cada uma das configurações de projeto, M_i é o momento de flexão do i -ésimo elemento em cada uma das configurações de projeto, $(EI)_i$ é a rigidez à flexão do i -ésimo elemento, N é o número total de elementos e U é o primeiro elemento da parte superior de cada uma das configurações de projeto.

12. Método de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que o índice de energia da deformação transmitida é definido pela equação:

$$PI = \frac{1}{(N - U + 1)} \sum_{i=U}^N \frac{M_i^2}{2(EI)_i}$$

15 em que PI é o índice de energia da deformação transmitida, i é o índice do elemento em cada uma das configurações de projeto, M_i é o momento de flexão do i -ésimo elemento em cada uma das configurações de projeto, $(EI)_N$ é a rigidez à flexão de cada elemento na parte superior de cada uma das configurações de projeto, N é o número total de elementos e U é o primeiro elemento da parte superior de cada uma das configurações de projeto.

20 13. Método de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que o índice da força lateral de BHA de valor quadrático médio é definido pela equação:

$$PI = \sqrt{\frac{1}{C} \sum_{j=1}^C F_j^2}$$

em que PI é o índice da força lateral de BHA de valor quadrático médio, j é o índice do elemento dos pontos de contato entre cada uma das configurações

de projeto e um furo de poço modelado, C é o número destes pontos de contato, e F_j é a força de contato.

14. Método de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que o índice da força lateral de BHA total é definido pela equação:

$$PI = \sum_{j=1}^C |F_j|$$

em que PI é o índice da força lateral de BHA total, j é o índice do elemento dos pontos de contato entre cada uma das configurações de projeto e um furo de poço modelado, C é o número destes pontos de contato, e F_j é a força de contato.

15. Método de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que o índice do torque de BHA de valor quadrático médio é definido pela equação:

$$PI = \sqrt{\frac{1}{C} \sum_{j=1}^C (\mu_j r_j F_j)^2}$$

em que PI é o índice do torque de BHA de valor quadrático médio, j é o índice do elemento dos pontos de contato entre cada uma das configurações de projeto e um furo de poço modelado, C é o número destes pontos de contato, F_j é a força de contato, r_j é o raio ao ponto de contato do braço no momento aplicado e μ_j é o coeficiente de atrito apropriado em cada ponto de contato respectivo.

16. Método de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que o índice do torque de BHA total é definido pela equação:

$$PI = \sum_{j=1}^C |\mu_j r_j F_j|$$

em que PI é o índice do torque de BHA total, j é o índice do elemento dos pontos de contato entre cada uma das configurações de projeto e um furo de poço modelado, C é o número destes pontos de contato, F_j é a força de contato, r_j é o raio ao ponto de contato do braço no momento aplicado e μ_j é o coeficiente de atrito apropriado em cada ponto de contato respectivo.

17. Método de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que a média de valor quadrático médio (RMS) de um ou mais índices de desempenho é definida pela equação:

$$PI' = \sqrt{\frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (PI)_{ij}^2}$$

em que PI' é a média RMS de um índice de desempenho selecionado, j é um índice do elemento, i é um índice do elemento, m é o número de modos de excitação, n é o número de comprimentos de extremidade de BHA, e $(PI)_{ij}$ é um de um ou mais índices de desempenho para o i -ésimo índice de m modos e j -ésimo índice de n comprimentos de extremidade de BHA na configuração do projeto de BHA.

18. Método de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que o máximo de um ou mais índices de desempenho é definido pela equação:

$$PI' = \max_{i=1}^m \{ \max_{j=1}^n (PI)_{ij} \}$$

em que PI' é o valor máximo de um índice de desempenho selecionado, j é um índice do elemento, i é um índice do elemento, m é o número dos modos de excitação, n é o número de comprimentos de extremidade, e $(PI)_{ij}$ é um de um ou mais índices de desempenho para o i -ésimo índice dos m modos e j -ésimo índice dos n comprimentos de extremidade de BHA na configuração de projeto de BHA.

19. Método de produzir hidrocarbonetos, caracterizado pelo fato de que compreende:

proporcionar uma configuração de projeto de conjunto de do furo de fundo selecionado através dos métodos de acordo com qualquer uma das reivindicações 1-18;

perfurar um furo de poço numa formação de subsuperfície com equipamento de perfuração com base em uma configuração de projeto de conjunto de furo de fundo selecionado;

dispor uma completação de furo de poço no furo de poço; e
 produzir hidrocarbonetos a partir da formação de
 subsuperfície.

5 20. Sistema de modelação caracterizado pelo fato de que
 compreende:

um processador:

uma memória acoplada ao processador; e

10 um conjunto de instruções legíveis por computador acessíveis
 pelo processador, em que o conjunto de instruções legíveis por computador é
 configurado para:

construir uma ou mais configurações de projeto, em que cada
 uma das configurações de projeto representa pelo menos uma parte de um
 conjunto de perfuração incluindo um conjunto de furo de fundo (BHA) e uma
 coluna de perfuração;

15 calcular um mais índices de desempenho que caracterizam o
 desempenho em vibração de uma ou mais configurações de projeto, em que o
 desempenho em vibração é medida por pelo menos uma de; (a) vibrações
 transmitidas a partir de uma seção de BHA inferior para uma seção de BHA
 superior e (b) energia de deformação por vibração do BHA; e

20 exibir um ou mais dos índices de desempenho calculados da
 pelo menos uma configuração de projeto.

21. Sistema de modelação de acordo com a reivindicação 20,
caracterizado pelo fato de que o conjunto de instruções legíveis por
 computador é ainda configurado para:

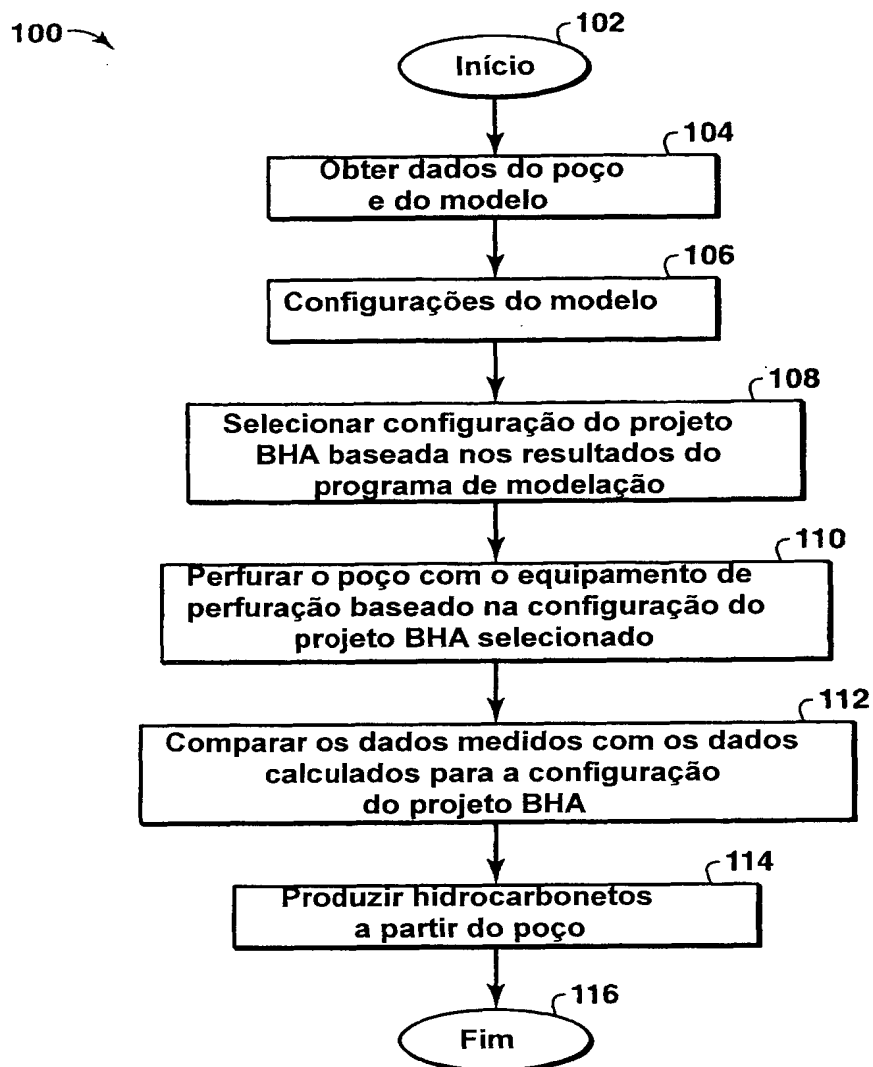
25 construir pelo menos um esboço de projeto;

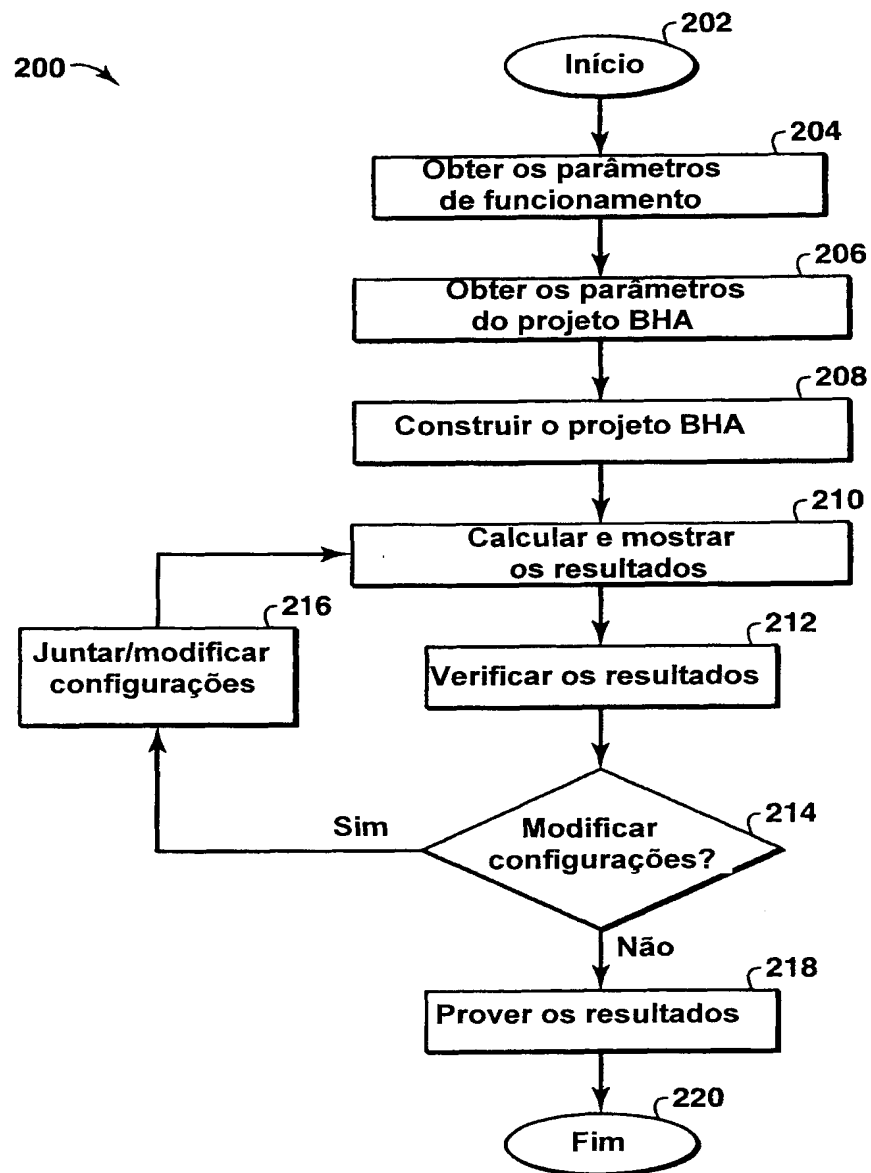
associar parâmetros de operação e condições de contorno
 comuns com cada um de pelo menos um esboço de projeto; e

associar parâmetros do equipamento com cada um de pelo
 menos um esboço de projeto para:

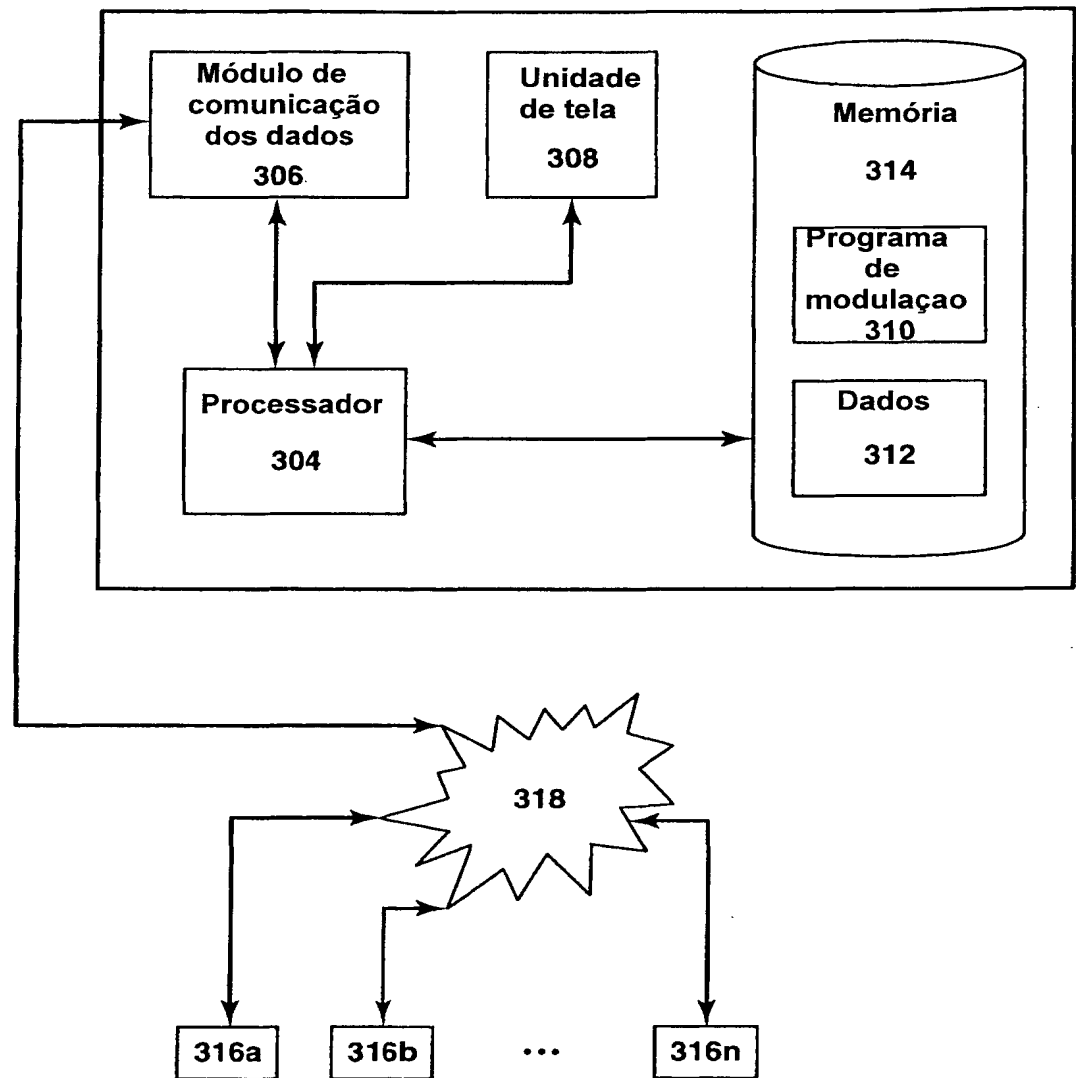
exibir simultaneamente um mais dos índices de desempenho calculados da pelo menos uma configuração de projeto.

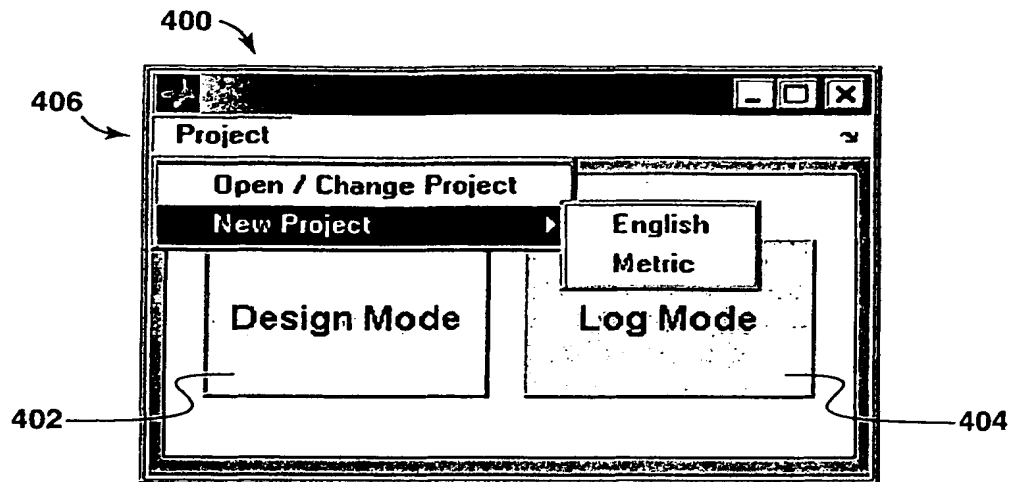
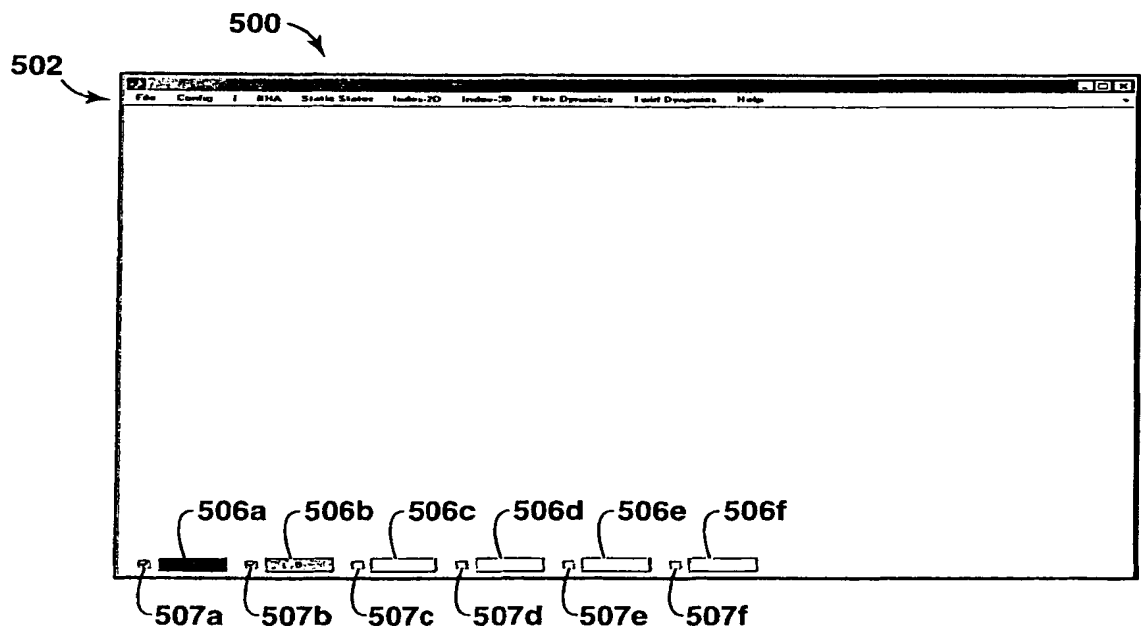
22. Sistema de modelação de acordo com a reivindicação 20, caracterizado pelo fato de que o um ou mais índices de desempenho
- 5 compreendem um ou mais um índice de energia da deformação de BHA, um índice de energia da deformação transmitida médio, um índice de energia da deformação transmitida, um índice da força lateral de BHA de valor quadrático médio, um índice do torque de BHA de valor quadrático médio, um índice da força lateral de BHA total, um índice do torque de BHA total e qualquer
- 10 combinação matemática dos mesmos.

**FIG. 1**

**FIG. 2**

300 →

**FIG. 3**

**FIG. 4****FIG. 5A**

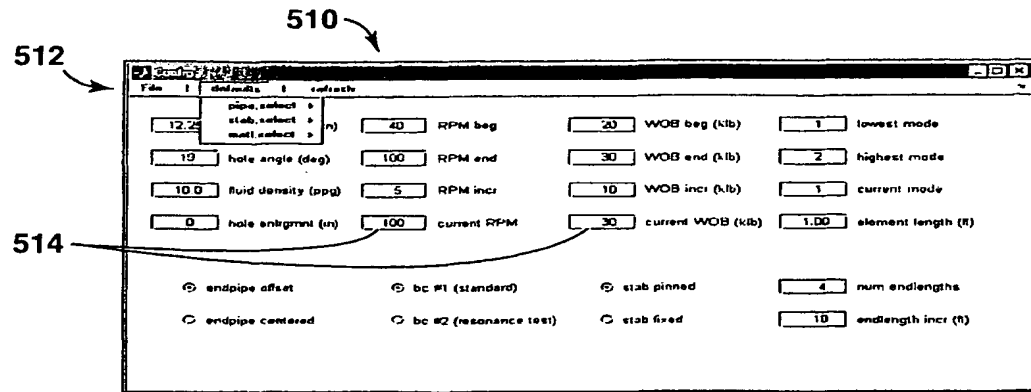


FIG. 5B

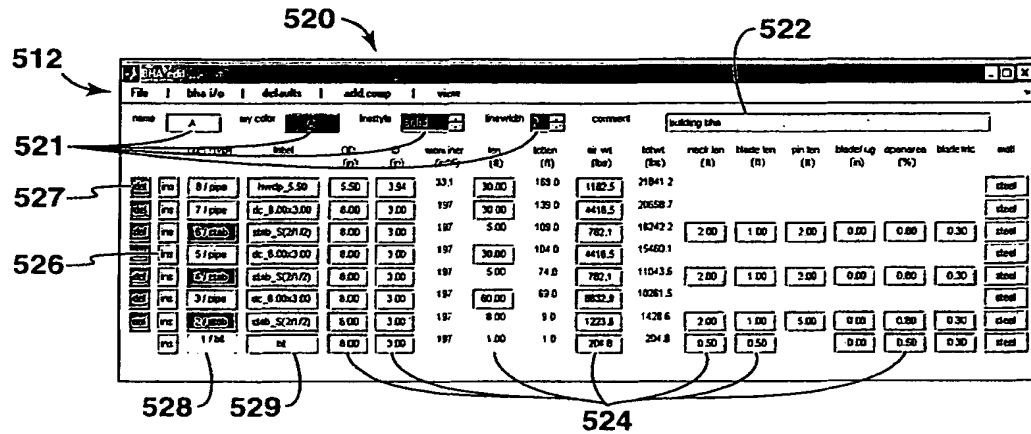


FIG. 5C

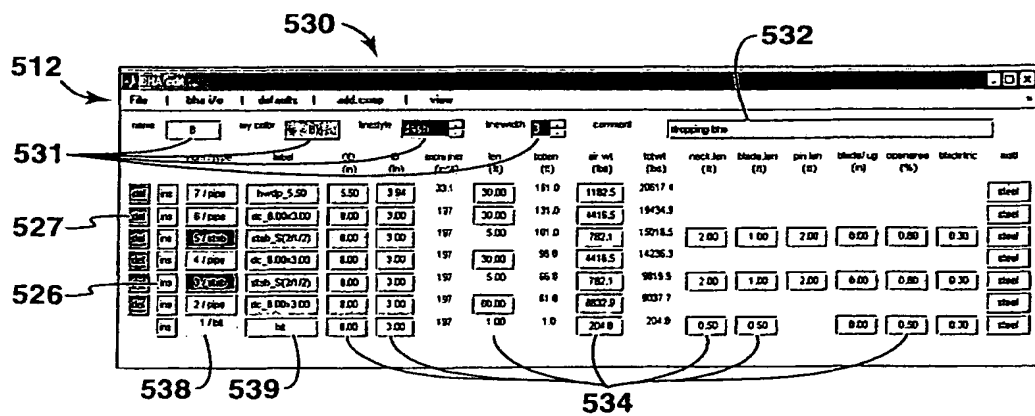


FIG. 5D

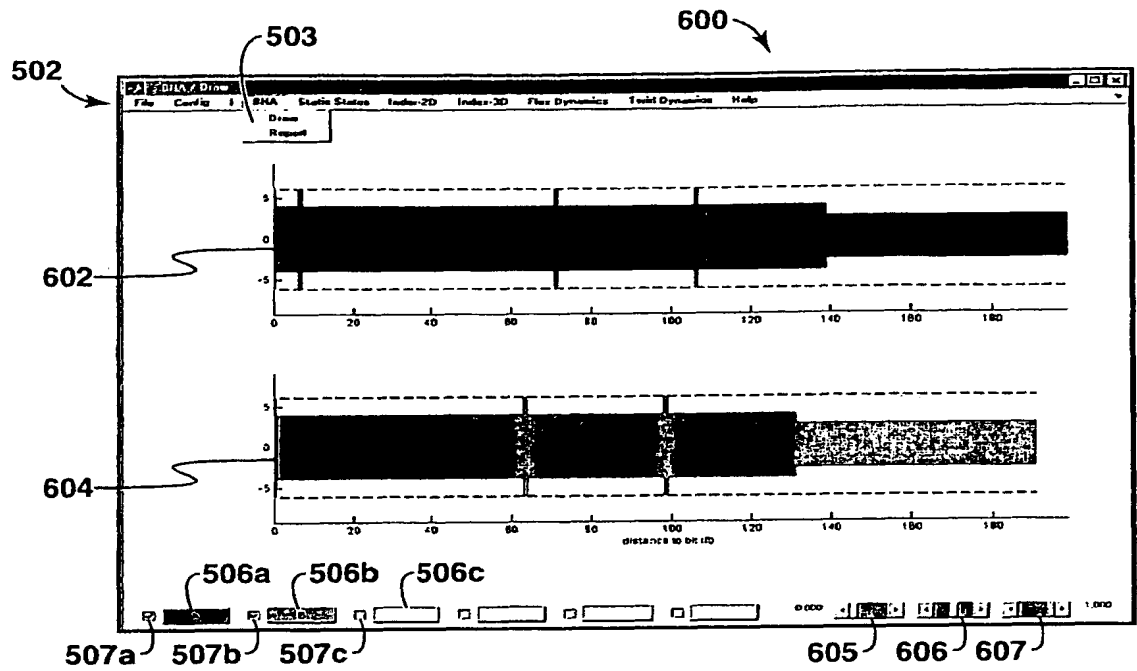


FIG. 6A

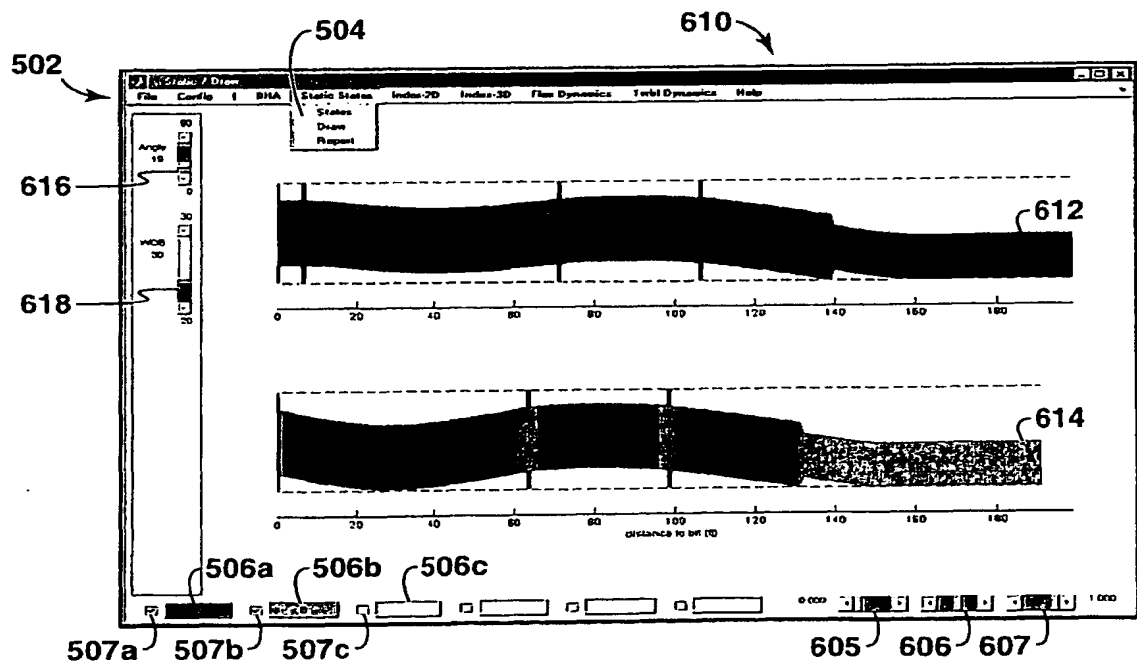


FIG. 6B

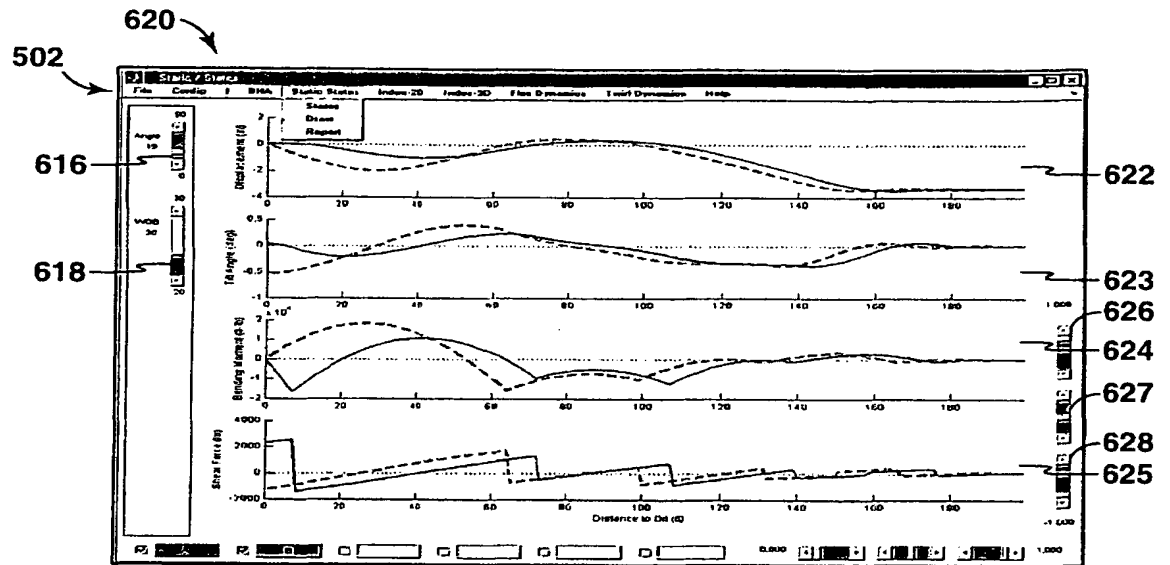


FIG. 6C

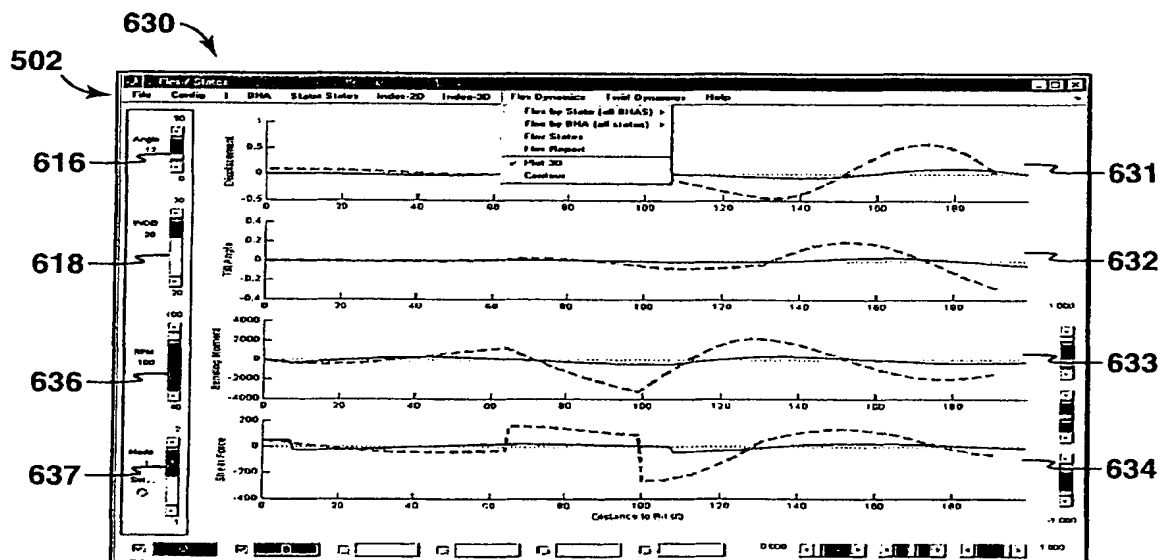


FIG. 6D

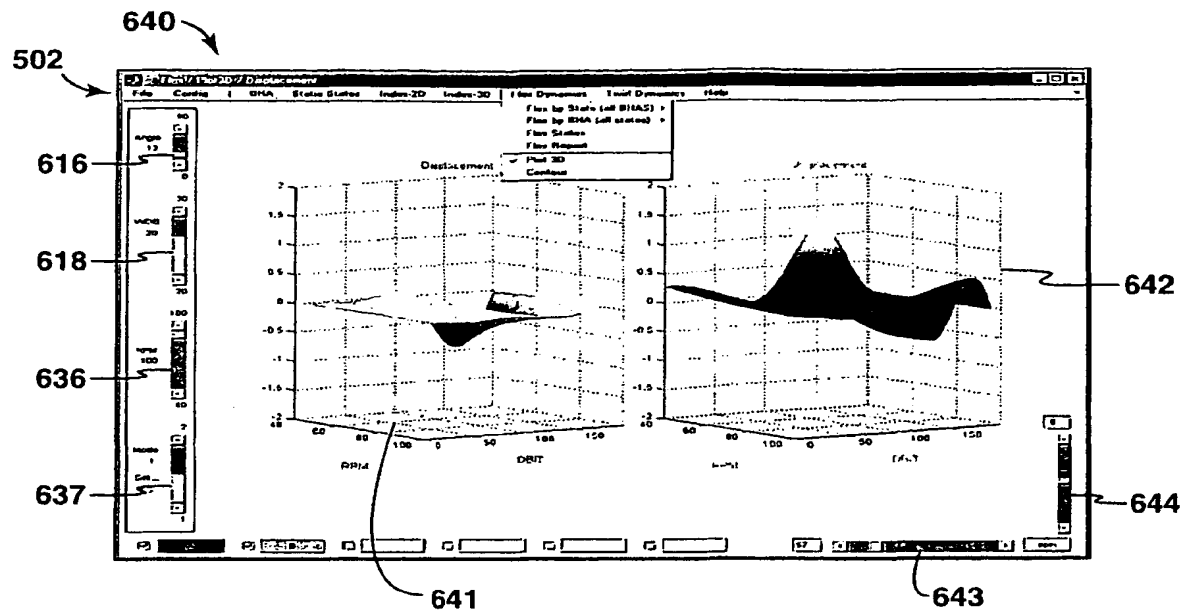


FIG. 6E

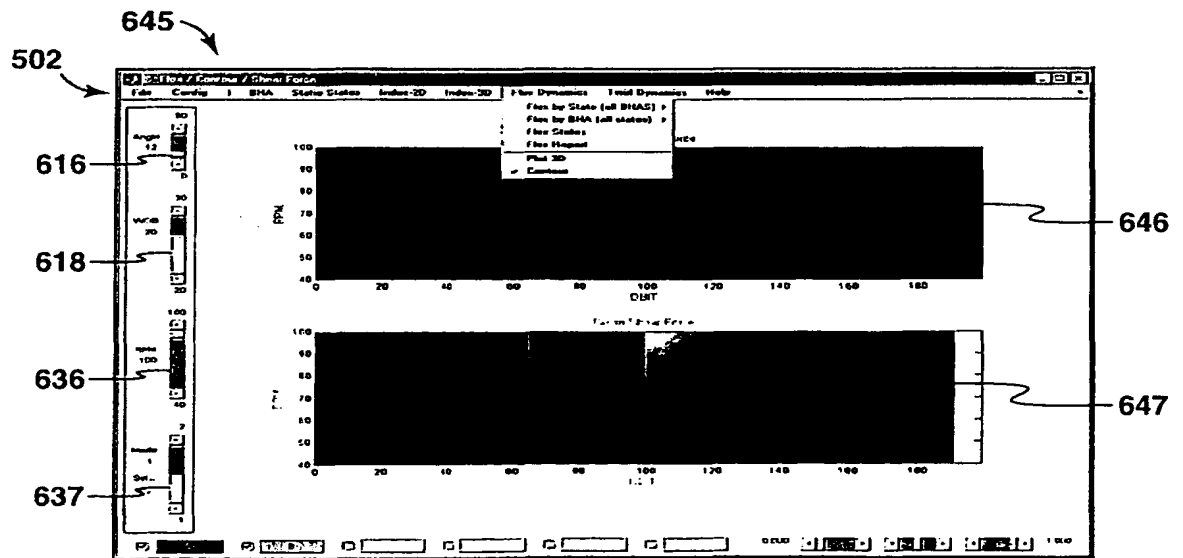


FIG. 6F

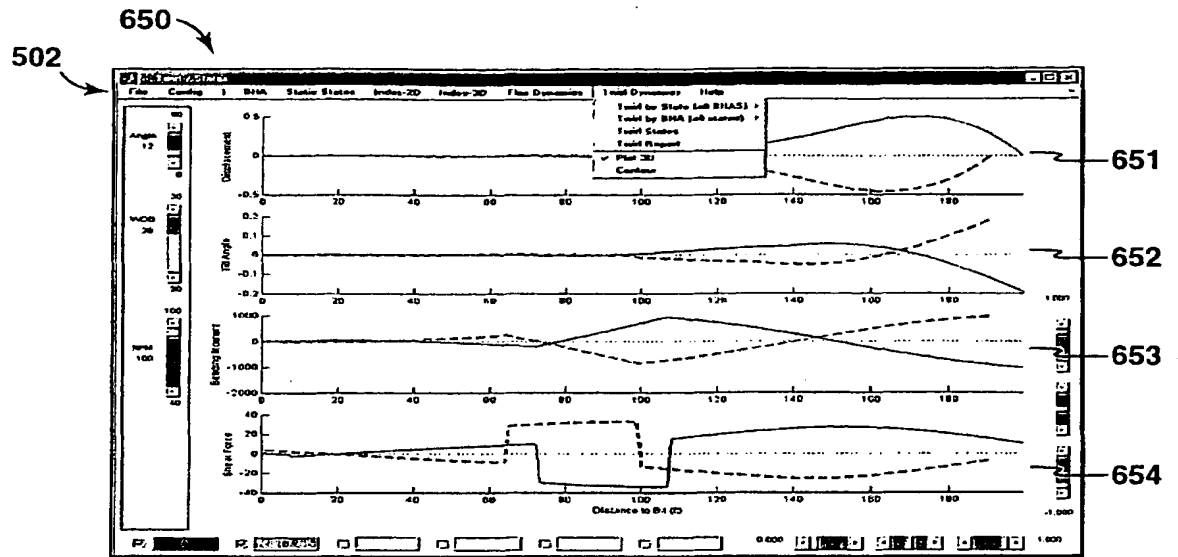


FIG. 6G

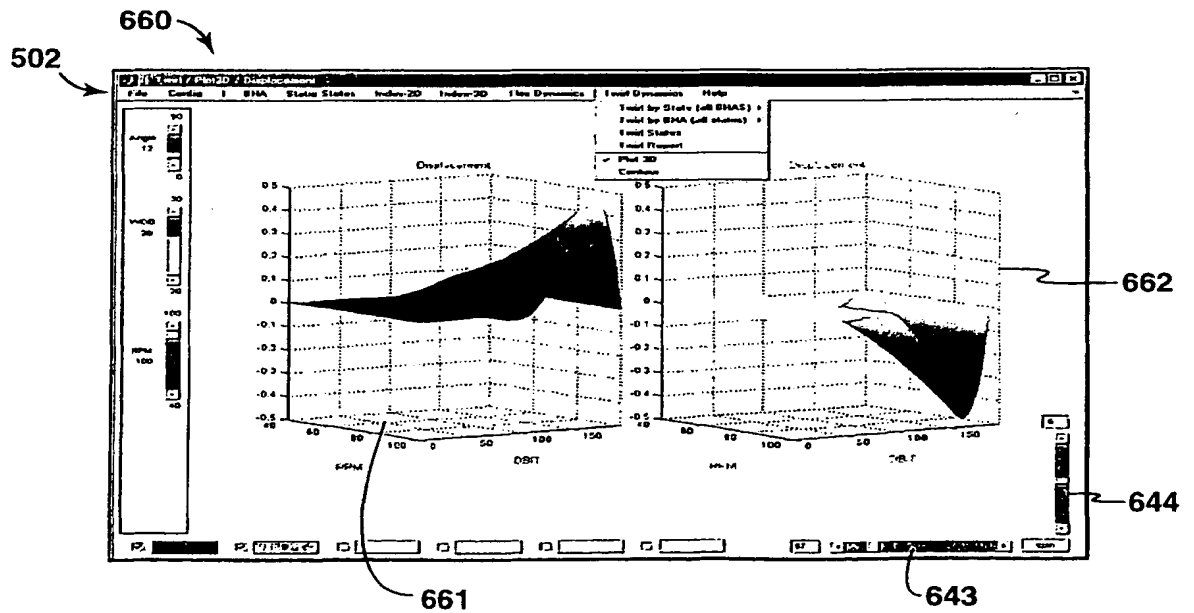
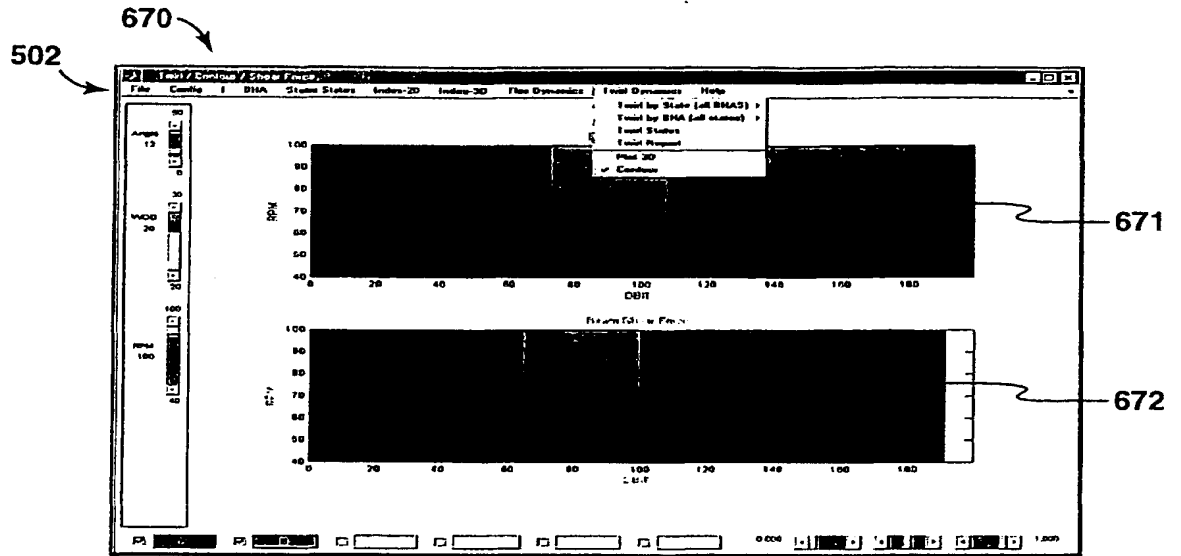


FIG. 6H

**FIG. 6I**

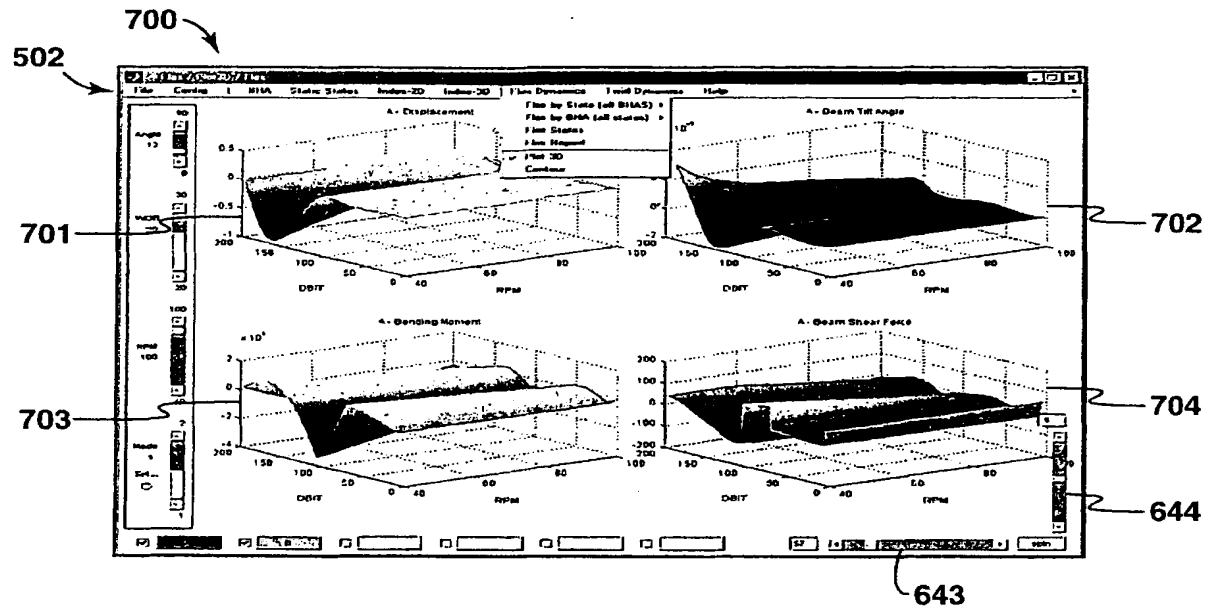


FIG. 7A

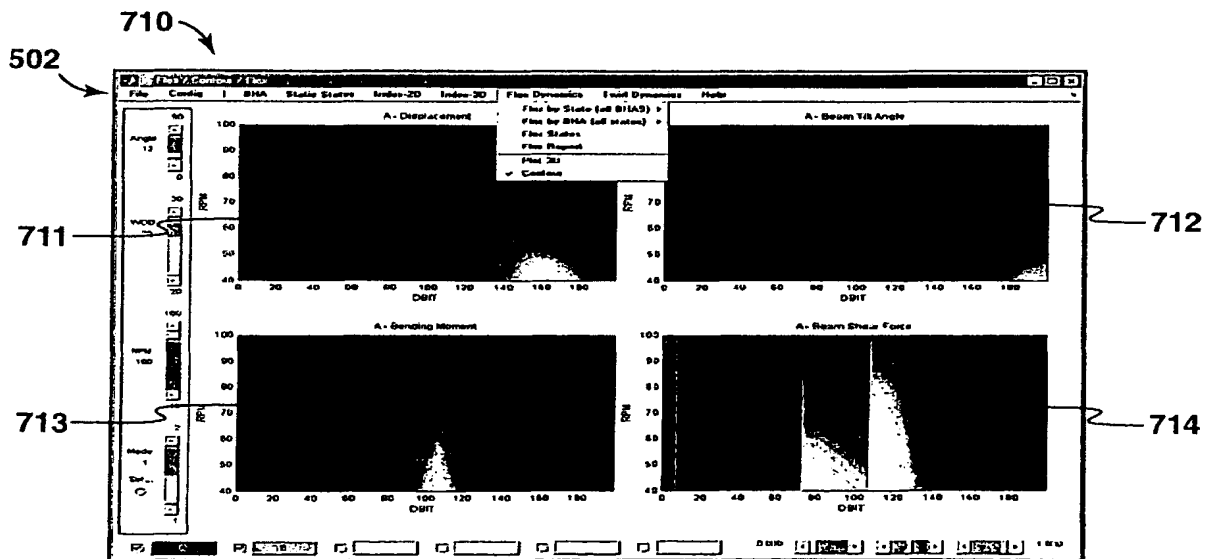
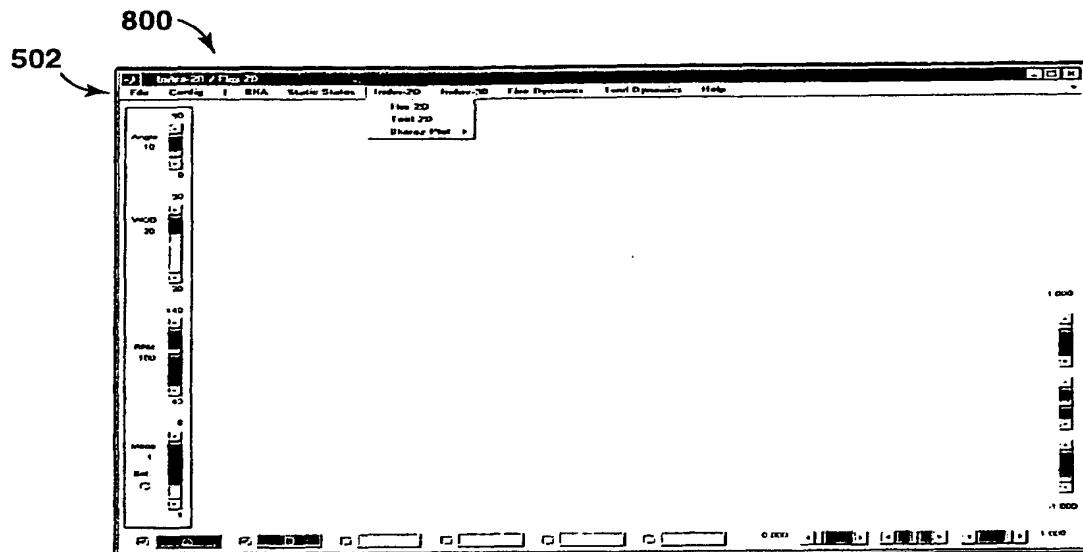
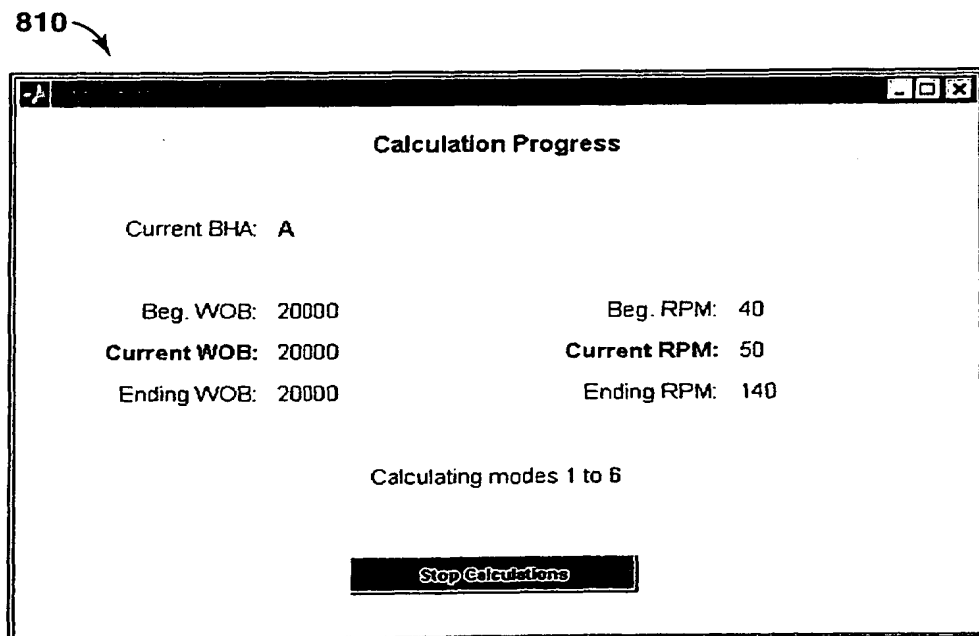


FIG. 7B

**FIG. 8A****FIG. 8B**

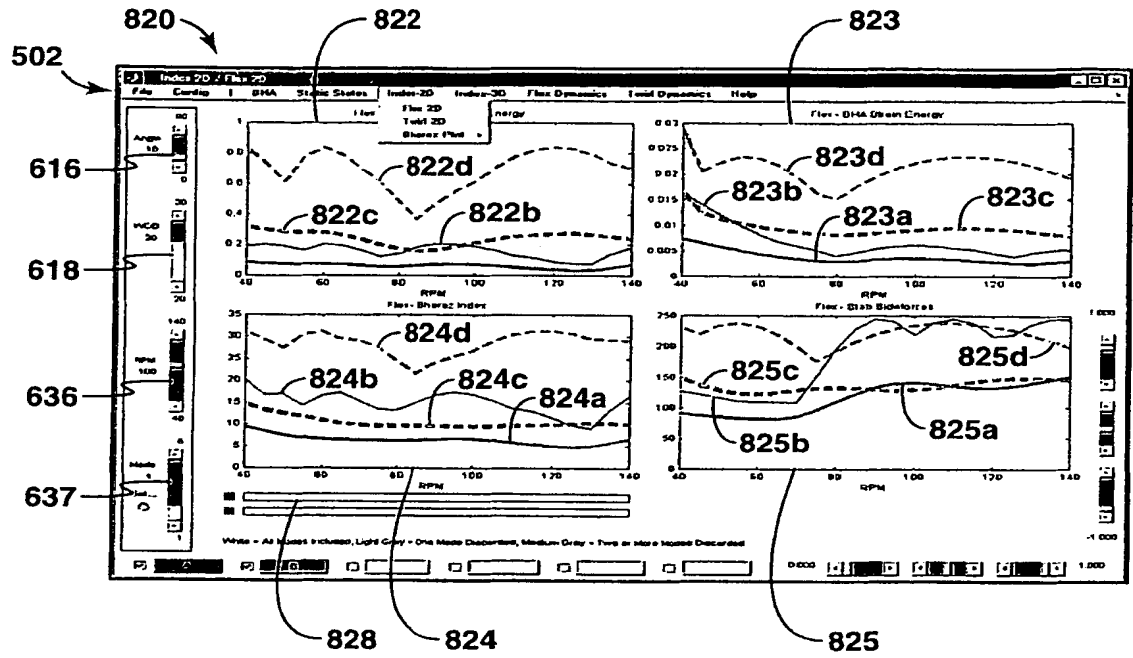


FIG. 8C

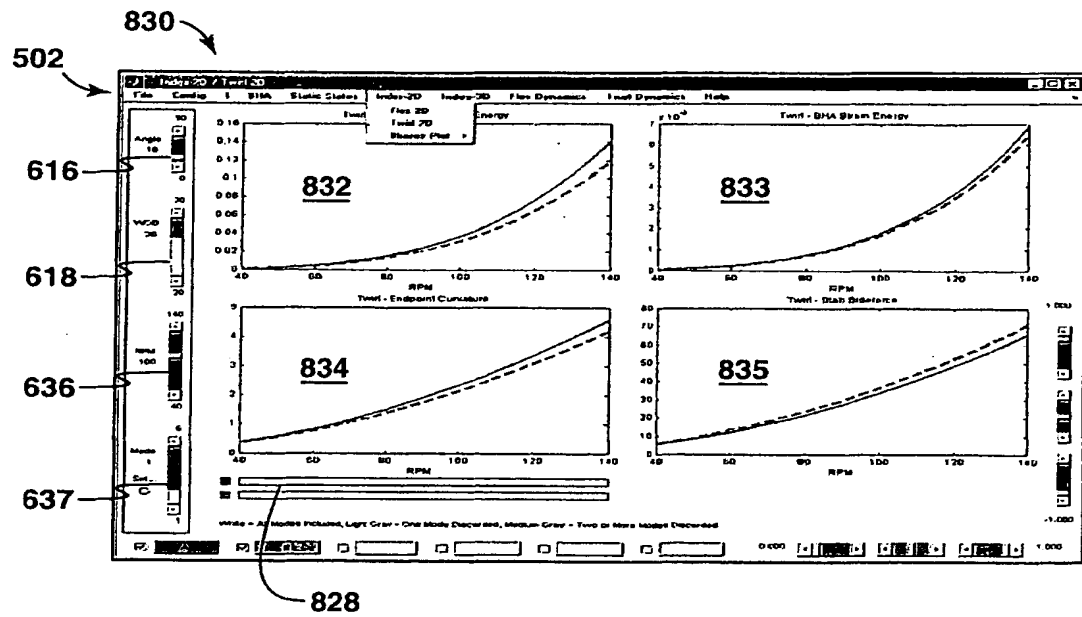


FIG. 8D

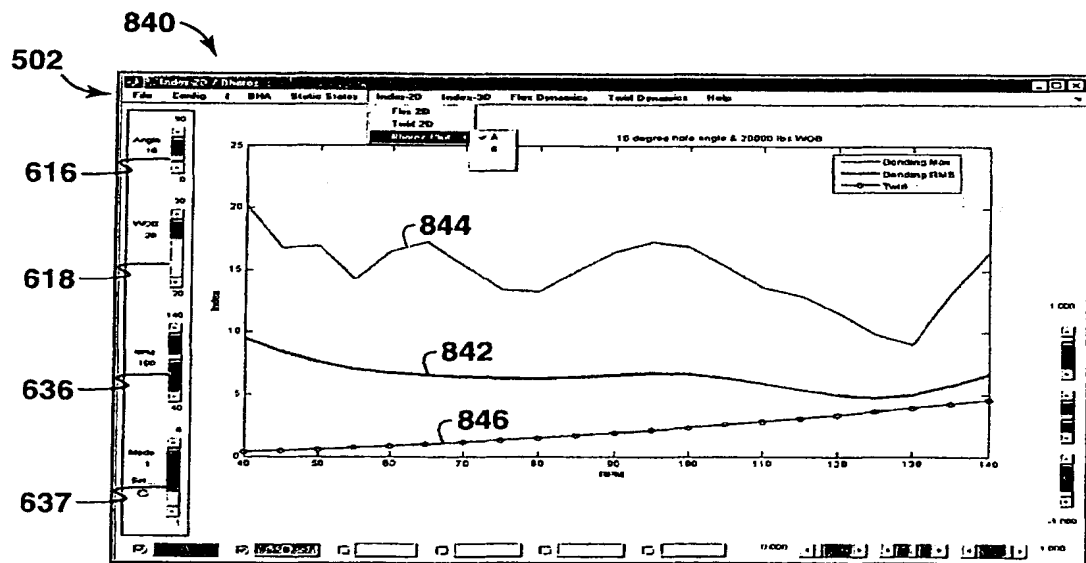


FIG. 8E

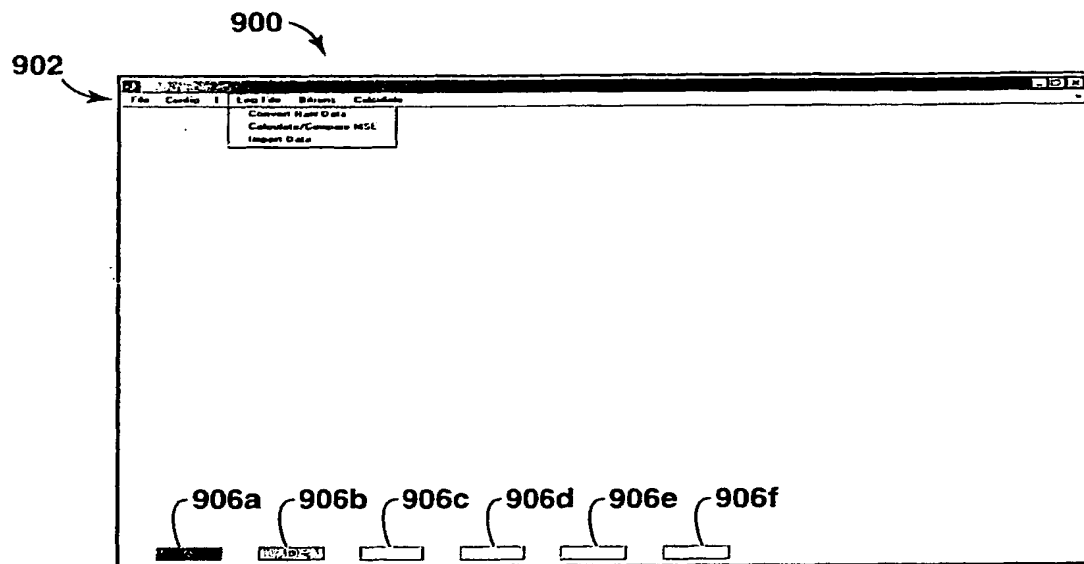


FIG. 9A

910

	A	B	C	D	E
1	depth	wob	rpm	rop	mse
2	6000	10600.4	87.42734	21.57391	35200.14
3	6001	10469.29	80.93805	19.93606	28742.56
4	6002	10977.88	80.30625	19.25371	26362.07
5	6003	10547.13	81.00431	18.26779	28800.57
6	6004	10868.41	88.40511	22.07111	34976.24
7	6005	10427.28	88.17861	18.66668	36581.03
8	6006	10709.65	80.31921	18.56332	27496.1
9	6007	10192.68	89.85539	18.82523	39402
10	6008	10114.99	89.61298	18.88884	39609.2
11	6009	10533.82	89.48103	21.0887	37716.95
12	6010	10056.64	86.66617	21.3486	36842.9
13	6011	10851.66	81.30296	21.25888	27368.26
14	6012	10746.78	80.36914	17.75059	26949.14
15	6013	10667.17	88.78165	22.52675	35888.51
16	6014	10193.86	88.23132	18.8149	37337.84

912

FIG. 9B

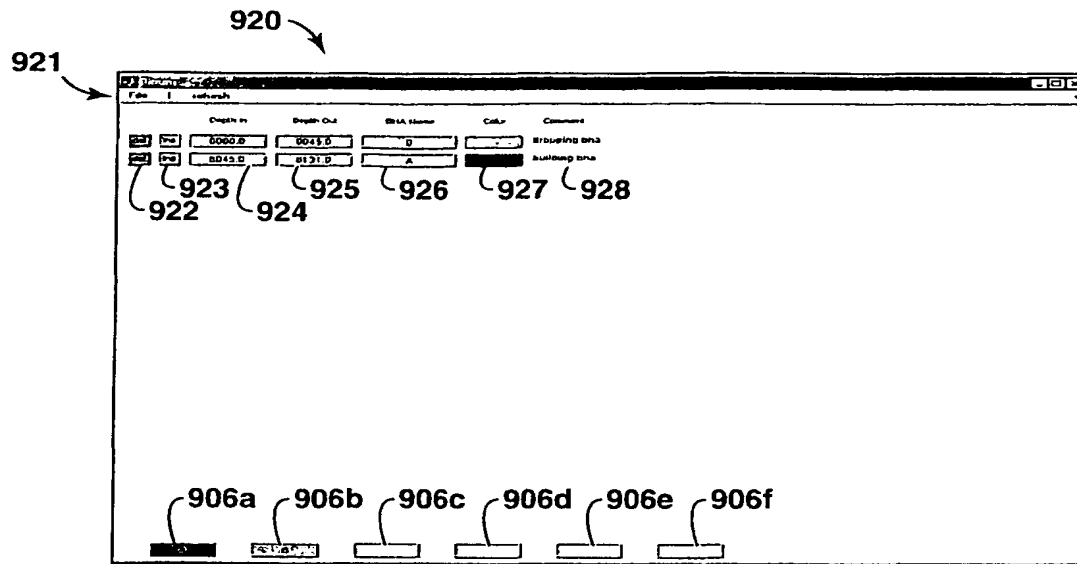


FIG. 9C

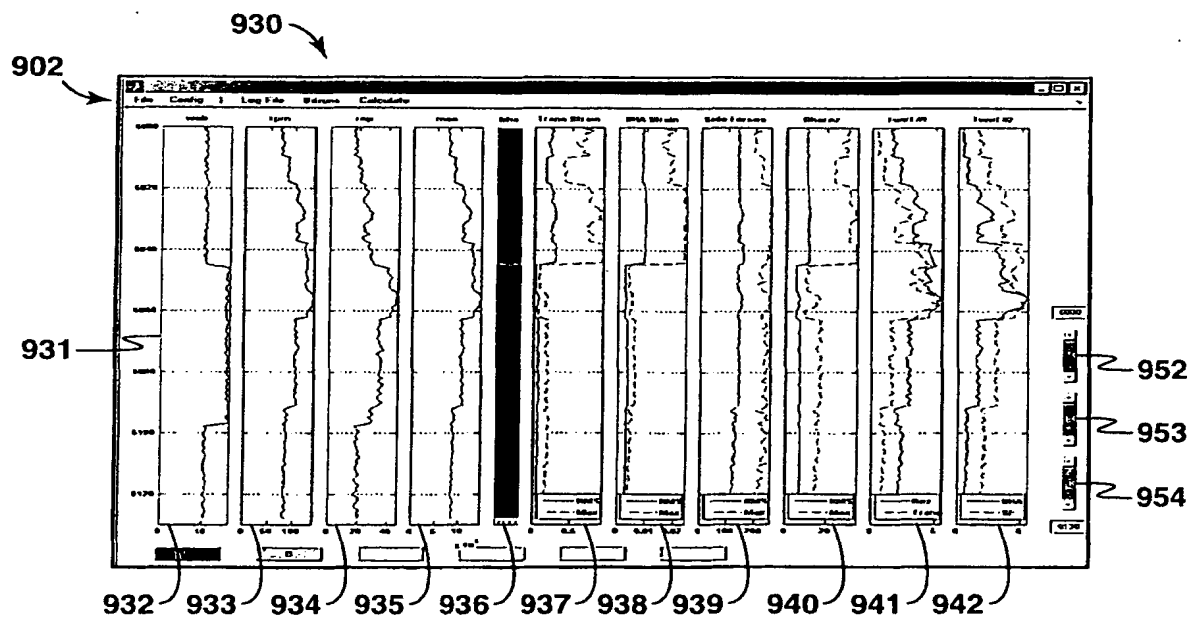


FIG. 9D

RESUMO

“MÉTODOS DE MODELAR EQUIPAMENTO DE PERFURAÇÃO PARA REPRESENTAR DESEMPENHO EM VIBRAÇÃO DO EQUIPAMENTO DE PERFURAÇÃO E DE PRODUIR HIDROCARBONETOS, E, SISTEMA DE MODELAÇÃO”

Um método e um aparelho associado à produção de hidrocarbonetos são descritos. O método, refere-se à modelação de equipamento de perfuração, e este inclui a construção de uma ou mais configurações de projeto para pelo menos uma parte de um conjunto de mecanismos do furo de fundo de poço (BHA) e os resultados dos cálculos de cada uma de uma ou mais configurações de projeto. Os resultados calculados da modelação podem incluir um ou mais índices de desempenho que caracterizam o desempenho de vibração BHA das configurações de desenho para os parâmetros de funcionamento e limitações que podem ser substancialmente os mesmos ou podem ser diferentes. Estes resultados são seguidamente representados simultaneamente para facilitar ao utilizador a seleção de desenho. A configuração de projeto de BHA selecionado pode seguidamente ser utilizada numa operação de construção do poço e portanto associada à produção de hidrocarbonetos.