



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

(21) PI 1010364-3 A2



(22) Data de Depósito: 05/10/2010
(43) Data da Publicação: 09/04/2013
(RPI 2205)

(51) Int.Cl.:
E21B 44/00
G09B 25/02

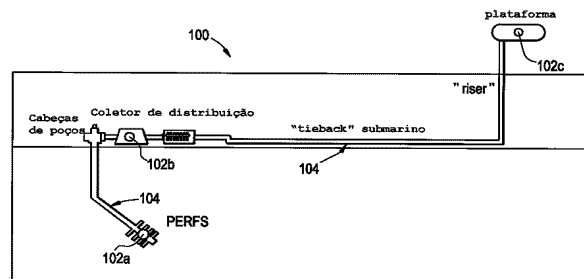
(54) **Título:** MÉTODO DE MODELAGEM DE UM SISTEMA DE PRODUÇÃO, MEIO LEGÍVEL POR COMPUTADOR POSSUINDO UM CONJUNTO DE INSTRUÇÕES LEGÍVEIS POR COMPUTADOR NELE RESIDENTES, E DISPOSITIVO DE COMPUTAÇÃO

(30) **Prioridade Unionista:** 04/10/2010 US 12/897,029, 05/10/2009 US 61/248,525

(73) **Titular(es):** Logined B.V.

(72) **Inventor(es):** David J. Rossi, Marcus Suzart Ungaretti Rossi

(57) **Resumo:** MÉTODO DE MODELAGEM DE UM SISTEMA DE PRODUÇÃO, MEIO LEGÍVEL POR COMPUTADOR POSSUINDO UM CONJUNTO DE INSTRUÇÕES LEGÍVEIS POR COMPUTADOR NELE RESIDENTES, E DISPOSITIVO DE COMPUTAÇÃO. Modalidades da presente invenção incluem um método que inclui a criação de um modelo determinístico que representa um sistema de produção. O modelo pode incluir uma ou mais entradas de dados e parâmetros que não são deterministicamente conhecidos, e uma ou mais saídas de dados. A função de densidade probabilística prévia pode ser usada para determinar o nível de incerteza prévia, e uma medida relacionada com a primeira das saídas de dados pode ser obtida. O método pode também incluir a determinação de uma função de densidade probabilística posterior usando a função de densidade probabilística prévia, a medida, e uma função de densidade probabilística condicional. Modalidades da presente invenção também incluem um meio legível por computador dotado com um conjunto de instruções legíveis por computador nele residente as quais, quando executadas, realizam atos compreendendo o método mencionado. Modalidades da presente invenção incluem ainda um dispositivo de computação que inclui uma memória, um ou mais processadores operacionalmente acoplados à memória e funcionalidade operável por processadores para executar o método mencionado.



MÉTODO DE MODELAGEM DE UM SISTEMA DE PRODUÇÃO, MEIO LEGÍVEL
POR COMPUTADOR POSSUINDO UM CONJUNTO DE INSTRUÇÕES LEGÍVEIS
POR COMPUTADOR NELE RESIDENTES, E DISPOSITIVO DE COMPUTAÇÃO

Fundamentos da Invenção

5 As indústrias de petróleo e gás têm utilizados
modelos preditivos matemáticos para representar sistemas de
produção, incluindo poços, submarinos e/ou redes e
instalações de superfície. Os modelos variam desde "óleo
10 estado estável até modelos em estado transiente. Quando
calibrados com os dados de medição disponíveis, tais
modelos podem ser utilizados para estimar propriedades dos
fluidos e as condições dinâmicas de fluxo em todo o
sistema. Por exemplo, esses modelos podem ser usados para
15 estimar as taxas de temperatura, pressão e vazão ao longo
do percurso do fluido. Isto, por sua vez permite aos
operadores compreenderem os problemas potenciais do
sistema, tais como restrições de fluxo devido ao acúmulo de
sólidos, água e/ou acúmulo de condensado em linhas de gás.

20 Os reservatórios de petróleo e gás podem ser
modelados usando métodos não-determinísticos. Por exemplo,
a simulação geoestatística tem sido usada para captar a
incerteza por meio de coletas de realizações de iguais
probabilidades (especificamente, estes métodos incorporam a
25 incerteza, mediante variar parâmetros da incerteza, gerando

uma coleta de modelos que satisfazem a todas as medições disponíveis, por exemplo, perfilagens sísmicas, geológicas do poço, histórico de produção, etc.). Outros métodos, tal como parecido com Filtragem de Kalman, podem ser também
5 usados para representar a incerteza do modelo e para atualizar continuamente os modelos do reservatório.

Técnicas bayesianas podem ser aplicadas para representar a incerteza na pressão dos poros em subsuperfície relacionadas a dados sísmicos, acústicos e
10 outros. No entanto, as técnicas Bayesianas não têm sido utilizadas nos métodos convencionais para fornecer uma atualização contínua da incerteza de modelos para sistemas de produção de petróleo e gás.

Os métodos convencionais, sistemas e aparelhos para
15 a modelagem de reservatório de petróleo e gás, poços, redes e instalações não são ideais em todos os aspectos. Assim, há a necessidade de utilizar técnicas não-determinísticas, tais como técnicas Bayesianas, para representar as incertezas e oferecer atualização contínua dos modelos de
20 poços de petróleo e gás, redes e instalações.

Breve Descrição dos Desenhos

Aspectos da presente revelação mais bem compreendidos a partir da descrição detalhada apresentada adiante, quando lida com as figuras que acompanham.
25 Ressalta-se que, em conformidade com a prática padrão na

indústria, vários recursos não estão em escala. Na verdade, as dimensões dos vários recursos podem ser arbitrariamente aumentadas ou reduzidas por razões de clareza da discussão. Os mesmos números são utilizados na totalidade dos desenhos para fazer referência a características e componentes semelhantes.

A Figura 1 ilustra uma visão esquemática de um sistema de produção "off-shore" de acordo com uma modalidade da presente invenção.

10 A Figura 2 mostra uma visão esquemática de um modelo de sistema de produção de acordo com uma modalidade da presente invenção.

A Figura 3 mostra uma visão esquemática de um modelo de rede de sistema de produção de acordo com uma modalidade da presente invenção.

15 A Figura 4 ilustra um sistema de produção do modelo matemático de acordo com uma modalidade da presente invenção.

A Figura 5 ilustra um gráfico de envelopes de fase pressão-temperatura e perfil operacional de acordo com uma modalidade da presente invenção.

A Figura 6 ilustra um gráfico de envelopes de fase pressão-temperatura com amostragem Monte Carlo de diferentes perfis operacionais de acordo com uma modalidade da presente invenção.

25

As Figuras 7A-7D ilustram um modelo e gráficos relacionados a uma probabilidade Bayesiana de atualização de cálculo de acordo com uma modalidade da presente invenção.

5 A Figura 8 ilustra um gráfico de envelopes de fase pressão-temperatura com coleta sobreposta dos perfis operacionais posteriores amostrados de modo probabilístico de acordo com uma modalidade da presente invenção.

A Figura 9 ilustra um método de acordo com uma
10 modalidade da presente invenção.

A figura 10 ilustra um dispositivo de computação representativo que pode ser usado para implementar modalidades da presente invenção.

Descrição Detalhada

15 O gerenciamento de ativos de petróleo e gás pode incluir a realização de determinadas atividades, tais como modelagem de poços, redes de oleodutos e instalações de superfície (tanto offshore e onshore). Simuladores, tais como o software PIPESIM (desenvolvido e distribuído pela
20 Schlumberger), PROSPER/GAP (desenvolvido e distribuído pela PETROLEUM EXPERTS), software OLGA (desenvolvido e distribuído pelo grupo SPT) ou LEDAFLOW (desenvolvido e distribuído pela KONGSBERG) podem ser usados para modelar de tais ativos. O objetivo de tais atividades de modelagem
25 podem incluir a previsão da temperatura, pressão e vazão (isto é, petróleo, gás, água) em todo um sistema.

Modelos matemáticos de poços, redes e instalações podem ser criados usando um software de modelagem. Por exemplo, o software PIPESIM podem ser usados para criar modelos de estado estacionário. Além disso, o software OLGA podem ser usados para criar modelos transitórios. Finalmente software HYSYS (desenvolvido e distribuído pela AspenTech), ou UNISIM (desenvolvido e distribuído pela Honeywell) podem ser usados para criar modelos de instalações. Geralmente, qualquer um dos modelos prévios podem ser mencionados neste documento como "um modelo de sistema de produção", ou simplesmente como um "modelo".

Modelos de sistemas de produção podem ser determinísticas. Ou seja, para um determinado conjunto de variáveis de entrada, o modelo pode gerar uma predição única saída definida. No entanto, na prática de poços de petróleo e gás, redes e instalações nem sempre podem ser descritas de forma inequívoca com um modelo determinístico. Em tais casos, outros métodos podem ser necessários para captar a incerteza intrínseca aos modelos do sistema.

Algumas modalidades da presente invenção podem usar as funções de densidade probabilística para representar a incerteza associada com a modelagem de poços, redes e instalações. Além disso, algumas modalidades da presente invenção podem usar técnicas Bayesianas para recursivamente atualizar a função de densidade probabilística (PDF) à medida que as novas medições se tornam disponíveis.

A Figura 1 ilustra esquematicamente um sistema de produção "off-shore" representativo 100. O ramo do sistema de produção 100 representa um sistema em um ambiente de água do mar. Os pontos 102a-c representam vários pontos ao longo do trajeto do fluido 104. Por exemplo, 102 é um ponto no reservatório, 102b é um ponto no coletor de distribuição submarino, e 102C é um ponto na plataforma (mais especificamente no separador).

A figura 2 ilustra um modelo de sistema de produção 200 representativo baseado no ramo de sistema 100 mostrado na Figura 1. O modelo 200 foi gerado utilizando o software PIPESIM. No entanto, em outras modalidades, outros softwares podem ser usados para criar o modelo 200, como mencionado acima.

O modelo 200 inclui uma completação de poço 204, que é acoplado à tubulação 208. A tubulação 208 é acoplada a um estrangulamento 212, que por sua vez é acoplado a uma ferramenta de comunicação 216 representando um coletor de distribuição (definido como termo em inglês "manifold") através de um conector 220. Uma linha de produção submarina 224 acopla o "manifold" 216 com uma outra ferramenta de comunicação que representa a base "riser" 232. A base "riser" 232 é acoplada a um multiplicador que representa a admissão da plataforma 236 através de um "riser" 240. Além disso, uma linha de produção "topside" 244 acopla a admissão da plataforma 236 a um separador 248. Em outras

modalidades, o linha de produção "topside" 244 fornece fluido a qualquer componente de uma instalação de processo conhecido na técnica. O modelo 200 é meramente representativo, e deve ser notado que o modelo 200 pode
5 incluir outros elementos conhecidos na arte.

O software PIPESIM também pode ser usado para modelos de redes que incluem vários ramos de interligação com um ou mais 'loops', como a rede mostrada na Figura 3. A Figura 3 é uma visão esquemática de um modelo de rede de
10 sistema de produção multiramificado 300. O modelo 300 inclui vários ramos de interligação com 'loops'. Modalidades da presente invenção, pode ser utilizado com os modelos de ramo único, como o modelo 200, ou modelos mais complexos, como o modelo 300.

15 A Figura 4 é uma ilustração esquemática de um modelo matemático 400 para um sistema de produção. No modelo matemático 400, o diagrama de fluxo de dados é apresentado com os seguintes elementos, dados de entrada 404 (representada na figura 4 e aqui como "d"), e os
20 parâmetros modelares 408 (representada na figura 4 e aqui como "p") são oferecidos a um modelo de sistema de produção 412 para produzir variáveis de saída 416 (representada na figura 4 e aqui como "v").

Os dados de entrada 404 podem incluir temperatura,
25 pressão e/ou dados de vazão em determinados pontos dentro de um sistema (por exemplo, os sistemas 200, 300). Por

exemplo, se o sistema foi representado pelo modelo 200
mostrado na Figura 2, os dados de entrada, então os dados
de entrada 404 podem incluir a pressão do reservatório para
a completção do poço 204, e a pressão na admissão ao
5 separador 248. Em outras modalidades da presente invenção,
outros dados de entrada 404 podem ser providos ao modelo
sistema de produção 412.

Os parâmetros modelares 408 podem fornecer uma
caracterização do fluido, do reservatório, da completção e
10 equipamento de produção. Por exemplo, os parâmetros
modelares 408 podem ser baseados em propriedades adequadas
de fluidos, tais como a composição e propriedades PVT. Além
disso, os parâmetros modelares 408 também podem incluir uma
descrição e características dos diversos elementos do
15 modelo (por exemplo, reservatórios, dutos, tubos e
tirantes). Por exemplo, a descrição e características podem
incluir o índice de produtividade da formação, comprimento
da tubulação, diâmetro interno da tubulação, espessura de
parede, eficiência do separador, temperatura ambiente, e
20 escolha dos relacionamentos empíricos da correlação do
fluxo multifase. Em outras modalidades, os parâmetros
modelares 408 podem incluir descrições e características de
outros elementos de um sistema.

As variáveis de saída 416 podem ser determinadas
25 utilizando o modelo de sistema de produção 412 com dados de
entrada 404 e os parâmetros modelares 408. Em uma

modalidade, as variáveis de saída 416 podem incluir determinações de temperatura, pressão e/ou vazão em vários pontos ao longo de um sistema. Por exemplo, em relação ao modelo 200 mostrado na Figura 2, as saídas do modelo 416
5 podem incluir a previsão da taxa de fluxo e da temperatura no separador 204. Em outra modalidade, variáveis de saída 416 podem incluir previsões de temperatura, pressão e/ou vazão em outros pontos ao longo do sistema.

A relação entre os dados de entrada modelares 404,
10 os parâmetros 408 e variáveis de saída 416 pode ser matematicamente representada pela seguinte equação linear:
 $v = f(d, p)$ (doravante referida como "Eq. 1.").

Na Eq. 1, "v" pode representar um vetor ou conjunto de valores das variáveis de saída 416 e "f" pode
15 representar um relacionamento, "d" pode representar um vetor ou conjunto de valores de dados de entrada 404, e "p" pode representar um vetor ou conjunto de valores dos parâmetros modelares 408. A equação acima é determinística. Ou seja, para o mesmo conjunto de valores que representam
20 as entradas d e p, este modelo determinístico prevê um valor único e repetível para as variáveis de saída v.

A Figura 5 ilustra um gráfico 500 de envelopes de fase pressão-temperatura de perfil operacional de acordo com uma modalidade da presente invenção. Um modelo de
25 sistema de produção, tais como os modelos 200 e 300 apresentados nas Figuras 2 e 3, respectivamente, podem ser

usados para prever e analisar o comportamento do fluxo do fluido multifásico através de linhas de produção submarinas e "risers", tal como a linha de produção submarina 224 e "riser" 240, mostrado na Figura 2.

5 A modelagem determinística do sistema de produção pode ser usada para prever pressões e temperaturas (P , T) do fluido no modelo 200 em vários pontos ao longo do modelo 200. (P , T) no reservatório 504A, "manifold" 504b, e separador 504c são mostrados no gráfico 500. Vários
10 envelopes de fase também são ilustrados na Figura 5. Por exemplo, uma fase envelope 506A, um envelope ceroso 506b, 506c e um envelope hidrato são mostrados na Figura 5.

A distribuição de (P , T) ao longo do modelo 200, como ilustrado pela linha 508 na Figura 5, é referido aqui
15 como o perfil operacional (P , T). O perfil operacional determinístico (P , T) pode ser sobreposto nos envelopes de fase pressão-temperatura (gráfico de termo-hidráulica), como mostrado pela curva tracejada 508 na Figura 5. Isto permite a verificação do comportamento dos fluidos em
20 vários pontos ao longo de um sistema de produção.

A Figura 6 mostra um gráfico ilustrando envelopes de fase pressão-temperatura 600 com amostragem Monte Carlo de diferentes perfis operacionais de acordo com uma modalidade da presente invenção. O perfil operacional (P ,
25 T) no reservatório 604a, coletor de distribuição 604b, e separador 604c são mostrados na tabela 600. Novamente, uma

fase envelope 606A, um envelope ceroso 606b, e um envelope hidrato 606c são mostrados na Figura 6. Como discutido acima, as variáveis de saída 416 ("v") mostrado na Figura 4 pode ser determinada pela equação $v = f(d, p)$. No entanto, a determinação das tais variáveis de saída 416 ("v") pode não ser exata, devido à incerteza associada aos dados de entrada 404 ("d") e aos parâmetros modelares ("p"). Por exemplo, mesmo que a relação "f" da equação (1) é determinística e conhecida com precisão, os dados de entrada 404 ("d") e os parâmetros modelares 408 ("p") podem não ser precisamente conhecidos.

De acordo com uma modalidade da presente invenção, as variáveis de saída 416 ("v"), tais como temperaturas, pressões e vazões, podem ser previstas utilizando modelo sistema de produção 412 mediante realizar cálculos nos dados de entrada 404 disponíveis e parâmetros modelares 408, juntamente com suas correspondentes incertezas, refletindo desse modo uma medida da incerteza da variáveis de saída 416. A abordagem acima pode também ser usada para mostrar como as incertezas das variáveis de saída 416 ("v") dependem das incertezas nos dados de entrada 404 ("d") e dos parâmetros modelares 408 ("p").

Modalidades da presente invenção podem se aplicar a equação determinística $v = f(d, p)$, além de permitir a entrada de dados 404 ("d") e os parâmetros modelares 408 ("p") para se ter as incertezas associadas. Como exemplo,

uma abordagem probabilística pode ser utilizada para quantificar e propagar as incertezas dos dados de entrada 404 ("d") e dos parâmetros modelares 408 ("p") para as variáveis de saída 416 ("v"). Os resultados desta abordagem 5 não é uma previsão única (isto é, determinística) das variáveis de saída 416 ("v"), tais como temperaturas, pressões e vazões. Em vez disso, os resultados desta abordagem, tendo em conta todos os dados de entrada disponíveis 404 ("d") e o conhecimento acerca dos 10 parâmetros modelares 408 ("p"), fornecem uma PDF que reflete a probabilidade de diferentes valores das variáveis de saída 416 ("v").

Uma PDF de interesse relacionada com a abordagem prévia inclui uma PDF condicional posterior para a entrada 15 de dados de incerteza que adentram na equação de modelagem do sistema de produção, após ser feita uma medição das variáveis de saída 416 ("v"). Usando uma abordagem bayesiana, a PDF condicional posterior pode ser escrita da seguinte forma: $p(d, p | v) \propto p(d, p) \times p(v | d, p)$ (a 20 seguir designado Eq. 2).

O lado esquerdo da Eq. 02 pode representar a PDF condicional posterior caracterizando a incerteza nas variáveis de entrada d e p, dada a totalidade da informação disponível em um dado momento (por exemplo, a observação de 25 um conjunto específico de medidas v), que é proporcional (símbolo \propto) ao produto de uma PDF antecedente $p(d, p)$ e

uma função de probabilidade $p(v | d, p)$. A PDF antecedente quantifica a incerteza da entrada de dados modelares d e p antes de fazer medições do sistema, e é limitada pelo conhecimento geral do sistema de produção, incluindo reservatórios, linhas de produção e os poços e plataformas. A função de probabilidade caracteriza como bem de qualquer escolha de d e p se ajusta aos dados medidos com respeito a rede. A Eq. 2 fornece uma maneira de combinar: (1) informação prévia por $p(d, p)$, e (2) medições reais v via $p(v | d, p)$.

As Figuras 7A-7D ilustram uma aplicação da Eq. 2, e fornecem um exemplo simplificado de um cálculo da atualização da probabilidade Bayesiana computação utilizando um modelo de sistema de produção. Referindo-se agora a Figura 7A, um modelo PIPESIM 700 para um único poço submarino com um "tie-back" 710 submarino de 4,8 km (6 milhas) de comprimento no interior de um "riser" 720 de 914 m (3000 ft) é mostrado. Modelos gerados por outros softwares de simulação de fluxo conhecidos na arte também podem ser usados. Nesta modalidade representativa, a pressão de entrada no separador é ajustada para aproximadamente 345 kPa (50 psi) e vazão de líquido é de 30.000 STDB/D. Estas duas variáveis deterministicamente conhecidas podem ser incluídos no conjunto de variáveis de entrada d do modelo PIPESIM mostrado na Figura 4 e Eq. 2.

Para manter a ilustração de Eq. 2 simples, este exemplo pressupõe o seguinte: (1) as variáveis de entrada d são conhecidos com certeza, e (2) há apenas um único parâmetro de modelagem p desconhecido na Figura 4 e Eq. 2.

5 Observe que a colocação de apenas um único parâmetro modelar desconhecido pode ser considerado um caso não realístico, porque uma quantidade grande não realística de medição da incerteza deve ser considerado a fim de conseguir níveis de incerteza que sejam ilustrativos no
10 cálculo Bayesiano de atualização. Em um caso mais realístico onde as variáveis de entrada d não são conhecidos com certeza ou a variável p reflete diversos parâmetros modelares desconhecidos, cada um dos parâmetros pode se assumir em níveis menores e mais realísticos de
15 incerteza para conseguir o mesmo efeito. No entanto, com vários parâmetros desconhecidos do modelo, o cálculo Bayesiano de atualização pode ser mais complexo e mais difícil para ilustrar.

O único parâmetro modelar desconhecido é assumido
20 nesse exemplo ser o diâmetro da linha de produção (o diâmetro da linha de produção nesse exemplo é nominalmente de 20,3 cm (8 polegadas)), mas pode variar ao longo da vida do campo devido à formação de incrustações ou de outras
acumulações de sólidos). Uma redução no efetivo diâmetro da
25 linha de produção pode induzir a pressão a montante na linha de produção a aumentar, como ilustrado no gráfico 730

mostrado na Figura 7B. O gráfico 730 pode ser gerado usando modelagem determinística PIPESIM, ou qualquer outro software de modelagem conhecido na arte. Nesse exemplo, a pressão a montante na linha de produção 735 marcada no gráfico 730 é a única variável no conjunto de variáveis de saída v do modelo PIPESIM mostrada na Figura 4 e Eq. 2.

Como as variáveis de entrada d (pressão de entrada no separador e vazão de líquido) são assumidas serem conhecidas com certeza, a Eq. 2 pode ser simplificada como segue:

$$p(p | v) \propto p(p) \times p(v | p) \text{ (a seguir referida como Eq. 2)a).}$$

Isso fornece uma fórmula pela qual a PDF antecedente $p(p)$ para p parâmetro p (aqui, o diâmetro da linha de produção) pode ser atualizado para se a PDF condicional posterior $p(p | v)$ para o diâmetro da linha de produção, condicionada na disponibilidade de uma medição da incerteza da saída v do modelo (aqui, a pressão a montante na linha de produção).

Para começar, vamos definir a PDF precedente $p(p)$ para o diâmetro de linha de produção (ou seja, a PDF para o diâmetro da linha de produção antes que quaisquer medições sejam feitas). O diâmetro da linha de produção pode ser nominalmente 20,32 cm (8 polegadas). No entanto, com o passar do tempo existe a possibilidade da acumulação de sólidos na linha de produção e o diâmetro efetivo será

menor que 20,32 cm (8 polegadas). Uma vez que a acumulação de sólidos reduz gradualmente o diâmetro, valores de diâmetro da linha de produção menores que 20,32 cm (8 polegadas) são mais prováveis de ocorrer como comparado a 5 valores de diâmetro de linha de produção que sejam muito menores que 20,32 cm (8 polegadas).

Para captar esse comportamento, vamos supor que a PDF antecedente $p(p)$ para o diâmetro da linha de produção tem uma forma exponencial, conforme ilustrado na Figura 7C, e representado quantitativamente pela proporcionalidade 10 seguinte (aqui $\exp(-x)$ representa a função exponencial e^{-x}): $p(p) \propto \exp\{-(8-p)\}$ para $0 \leq p \leq 8$, sendo zero em caso contrário. Referindo-se agora a Figura 7C, o cálculo numérico da média e desvio padrão para a PDF oferece a 15 estimativa precedente (antes das medições) do diâmetro da linha de produção: $7,0 \pm 1,0$ polegadas. Uma modalidade representativa disso é mostrado no gráfico 750.

Em seguida, a condicional PDF $p(v | p)$ para a pressão a montante na linha de produção, condicionada ao 20 valor do diâmetro p da linha de produção pode ser definida. Para um dado valor de diâmetro p da linha de produção o modelo PIPESIM determinístico (ou seja, a relação marcada no gráfico 730 da Figura 7B) pode ser usado para calcular a pressão a montante. Esse resultado do modelo pode ser 25 indicado como $M(p)$. A real pressão v de manômetro, então, é representada como o valor calculado por PIPESIM mais zero-

média (se o ruído aditivo de medição não é zero-média, o valor médio pode ser combinado com o modelo PIPESIM tal que o ruído aditivo remanescente seja zero-média) ruído aditivo da medição Gaussiana possuindo desvio padrão σ ,
 5 representado quantitativamente pela proporcionalidade:

$$p(v | p) \propto \exp\{-[(v - M(p))/\sqrt{2}\sigma]^2\}.$$

Para ilustrar com um cálculo específico, suponha que a pressão a montante na linha de produção seja medida com um medidor de pressão impreciso a 1450 ± 30 psi
 10 (conforme mencionado previamente, a incerteza na medição de pressão é considerada alta porque a colocação da to das incertezas modelares dentro de apenas um único parâmetro modelar desconhecido é um caso muito não realístico). A PDF posterior $p(p | v)$ para o diâmetro da linha de produção
 15 condicionado na medição da incerteza da pressão a montante na linha de produção (Eq. 2a) é representado pela seguinte proporcionalidade: $p(p | v=1450) \propto \exp\{-(8-p)\} \times \exp\{-[(1450 - M(p))/\sqrt{2}\sigma]^2\}$.

Referindo à Figura 7D, o gráfico ilustra uma PDF
 20 condicional posterior $p(p | v)$ para o diâmetro da linha de produção, dada uma medição ruidosa a medição de ruído da pressão a montante na linha de produção 1450 ± 30 psia. O gráfico 770 mostra um gráfico 780 da PDF condicional posterior $p(p | v)$ para o diâmetro da linha de produção
 25 dada uma leitura v no manômetro de pressão 1450 ± 30 psia.

Note que, embora a PDF condicional posterior pareça ter a forma de uma PDF Gaussiana, ela é notada ser não-simétrica e a equação prévia demonstra que ela não é uma função Gaussiana, e portanto, é calculada numericamente.

5 Uma vez que esta função tenha sido calculada, a média posterior e o desvio padrão do diâmetro da linha de produção podem ser calculados numericamente, para se chegar a uma estimativa da incerteza para o diâmetro efetivo da linha de produção de $7,2 \pm 0,2$ polegadas. Note-se que comparado com a estimativa prévia, o desvio padrão da
10 estimativa do diâmetro da linha de produção é um fator de 5 menor devido à disponibilidade da medição ruidosa da pressão a montante na linha de produção.

 As fórmulas de atualização Bayesiana na Eq. 2 e 2a
15 podem ser aplicadas repetidamente com o passar do tempo e à medida que outras medições são feitas da pressão a montante na linha de produção. Em uma modalidade representativa, em cada etapa de tempo, a PDF condicional posterior $p(p | v)$ para o diâmetro da linha de produção (mostrado na Figura 7D para a primeira etapa de tempo) se torna a nova PDF prévia
20 (isto é, substitui a PDF mostrada na Figura 7C para a primeira etapa de tempo).

 Continuando com o exemplo da linha de produção submarina mostrado na Figura 6, na prática, a PDF
25 condicional posterior $p(d, p | v)$ na Eq. 2 pode ser calculada utilizando a totalidade das medições disponíveis.

A PDF condicional posterior na Eq. 2 pode ser então amostrada usando métodos de amostragem Monte Carlo (isto é, valores (d, p) gerados randomicamente, com base na PDF condicional posterior), e para cada valor de (d, p) , o
5 modelo de sistema de produção na Eq. 1 é calculado, gerando assim um perfil (P, T) operacional.

A repetição desse processo com amostragem Monte Carlo gera uma coleção de perfis operacionais (P, T) , como ilustrado pelos perfis de 608 na Figura 6, e um conjunto
10 maior de simulações Monte Carlo pode ser usado para gerar uma PDF para (P, T) em cada ponto ao longo da linha de produção que sejam todos restringidos com o dado disponível, que é discutido em vista da Figura 8 adiante.

A Figura 8 mostra um gráfico 800 que ilustra
15 envelopes de fase pressão-temperatura com uma coleção sobreposta de perfis operacionais posteriores amostrados de forma probabilística de acordo com uma modalidade da presente invenção. Os pontos 8041-c representam o dados (P, T) nos correspondentes pontos relativamente aos pontos
20 102a-c, 506a-c, 606a-c nas Figuras 1, 5 e 6, respectivamente. Um envelope de fase 806a, um envelope ceroso 806b, e um envelope hidrato 806c são também mostrados na Figura 8.

As resultantes PDFs condicionais (P, T) , como
25 ilustrado pela nuvem 808 na Figura 8 são indicativas da incerteza final dos perfis operacionais de saída do modelo,

com base na totalidade dos dados disponíveis em qualquer momento. Áreas mais densas (mais escurecidas) da nuvem 808 representam perfis operacionais que são mais prováveis de ocorrer, enquanto que áreas menos densas (mais claras) da nuvem 808 representam perfis operacionais que são menos prováveis de ocorrer.

A disponibilidade de perfis de uma PDF condicional posterior de (P, T) permite a incorporação direta da incerteza e risco nas decisões subsequentes acerca da intervenção na linha de produção potencialmente dispendiosas. Por exemplo, a PDF condicional posterior pode ser usada para executar uma análise de risco, ou para tomar uma decisão econômica de acordo com modalidades da presente invenção. Em um cenário de exemplo, o gráfico 800 mostra que os perfis (P, T) que estão completamente do envelope de equilíbrio hidrato 806c não formam hidratos. Se um operador quisesse estimar uma quantidade de investimento para remediar ou proteger contra a formação de hidratos, ele deveria identificar as porções da nuvem 808 que atravessam o envelope de equilíbrio hidrato 806c, e ele pode determinar qual ação pode ser exigida para prevenir a formação de hidrato em tais pontos. Por exemplo, quando tais perfis operacionais são prováveis ocorrer, o operador pode injetar fluidos ou produtos químicos que possam inibir a formação de hidratos. Outra opção é que o operador possa circular fluidos quentes em tal perfil operacional, a fim

de manter a temperatura do fluido acima da tem de formação do hidrato durante os procedimentos operacionais, tais como nas operações de partida de poços (fenômenos transitórios). Em contraste a uma distribuição determinística de perfis operacionais 508 (P, T), uma distribuição probabilística de perfis operacionais 508 (P, T) permite que o operador avalie cenários de intervenção e tome as decisões de cunho econômico com base na probabilidade de resultados prováveis. Deve ser entendido que o que precede é meramente um cenário exemplar, e que a PDF condicional posterior pode ser usada para realizar análise de risco e/ou tomar decisões econômicas em relação a outras situações conhecidas na técnica.

A Figura 9 ilustra um método 900 de modelagem de um sistema de rede do poço. Um sistema de produção pode incluir um ou mais poços, uma ou mais redes de produção, ou qualquer combinação de um ou mais poços e/ou uma ou mais redes de produção. Em uma modalidade, um sistema de produção pode incluir um ou mais modelos de instalação situados na superfície. A totalidade ou parte do método 900 pode implementar modalidades representativas da presente invenção. O método 900 pode incluir um bloco 910 que inclui a criação de um modelo que representa um sistema de produção. O modelo pode incluir uma ou mais das entradas de dados e parâmetros como não deterministicamente conhecidos. Deve ser entendido que uma ou mais das entrada de dados e

parâmetros podem ser conhecidos deterministicamente. No bloco 930, para os valores de entrada de dados e de parâmetros que não sejam deterministicamente conhecidos, uma incerteza prévia pode ser determinada utilizando uma

5 função da densidade probabilística (PDF). O bloco 940 pode se incluir considerando que uma das saídas do modelo seja medida, e determinando a incerteza da medição usando uma PDF condicional. A determinação da incerteza das medições pode ser condicionada aos valores das entradas de dados e

10 dos parâmetros. O método 900 no bloco 950 pode incluir a obtenção de uma medição de uma das saídas de dados do modelo. Em uma modalidade, a medição pode incluir uma pluralidade de valores. O bloco 960 pode incluir utilização da PDF prévia, a medição, e a PDF condicional para

15 determinar uma PDF condicional posterior relacionada a pelo menos uma das entrada de dados e parâmetros. O bloco 960 pode utilizar a regra de Bayes para calcular a PDF condicional posterior. Em uma modalidade representativa, o bloco 960 pode usar amostragem Monte Carlo para determinar

20 a PDF condicional posterior. Em uma modalidade, a PDF condicional posterior pode ser usada para executar uma análise de risco ou para tomar uma decisão econômica, como mostrado no bloco 970. O bloco 980 pode incluir o avanço para a próxima etapa, e a utilização da PDF condicional

25 posterior como a PDF antecedente da próxima etapa. Em uma modalidade da presente invenção, a utilização da PDF

condicional posterior como a PDF antecedente da próxima etapa compreende a determinação de uma PDF antecedente de pelo menos uma das saídas de dados. O método 900 pode, então, realizar trânsito entre os blocos 950, 960, 970 e 5 980 para uma ou mais etapas distribuídas no tempo.

A Figura 10 ilustra um representativo dispositivo de computação 1000 que pode implementar várias técnicas aqui descritas, e que podem ser representativas, no todo ou em parte, dos elementos descritos. O dispositivo de 10 computação 1000 é apenas um exemplo de um dispositivo de computação e não se destina a sugerir qualquer limitação quanto ao âmbito de utilização ou a funcionalidade do dispositivo de computação e/ou suas possíveis arquiteturas. Nenhum dispositivo de computação 1000 deve ser interpretado 15 como possuindo qualquer dependência ou exigência relativamente a qualquer um ou combinação de compostos ilustrados no dispositivo de computação 1000 representativo.

O dispositivo de computação 1000 pode incluir um ou 20 mais processadores ou unidades de processamento 1002, um ou mais componentes de memória e/ou de armazenamento 1004, um ou mais dispositivos de entrada/saída (I/O) 1006, e um barramento de distribuição 1008 que permite que os diversos componentes e dispositivos se comuniquem uns com os outros. 25 O barramento de distribuição 1008 pode representar um ou mais de qualquer dos vários tipos de estruturas de

barramento de distribuição, incluindo um barramento de distribuição de memória ou um controlador de memória, um barramento de distribuição periférico, uma porta aceleradora gráfica, e um processador ou um barramento de
5 distribuição local, utilizando qualquer uma de uma variedade de arquiteturas de barramento de distribuição. O barramento de distribuição 1008 pode incluir barramentos de distribuição cabeados e/ou sem fio.

O componente de memória/armazenamento 1004 pode
10 representar um ou mais suportes informáticos. Componente 1004 pode incluir meios voláteis (tais como memória de acesso randômico (RAM)) e/ou meios de comunicação não-voláteis, (tal como Read Only Memory (ROM), memória flash, discos óticos, discos magnéticos, e assim por diante).
15 Componente 1004 pode incluir mídia fixa (por exemplo, RAM, ROM, uma unidade de disco rígido fixa, etc.), bem como uma mídia removível (por exemplo, uma unidade de memória flash, um disco rígido removível, um disco óptico, e assim por diante).

20 Um ou mais dispositivos de entrada/saída de dados 1006 permitem a um usuário entrar com os comandos e informações aos dispositivos de computação 1000, e também permitir que as informações sejam apresentadas ao usuário e/ou outros componentes ou dispositivos. Exemplos de
25 dispositivos de entrada de dados incluem um teclado, um dispositivo de controle de cursor (por exemplo, um mouse),

um microfone, um scanner, e assim por diante. Exemplos de dispositivos de saída de dados incluem um dispositivo de exibição (por exemplo, um monitor ou projetor), alto-falantes, uma impressora, uma placa de rede, e assim por
5 diante.

Diversas técnicas podem ser descritas aqui, no contexto geral de módulos de software ou programa. Geralmente, o software inclui rotinas, programas, objetos, componentes, estruturas de dados, e assim por diante que
10 realizam determinadas tarefas ou executar determinados tipos de dados abstratos. Uma implementação desses módulos e técnicas podem ser armazenados ou transmitidos através de algum tipo de mídia legível por computador. mídia legível em computador pode ser qualquer meio disponível ou mídia
15 que pode ser acessado por um dispositivo de computação. A título de exemplo, e não de limitação, a mídia legível em computador pode incluir "meios de armazenamento legíveis por computador".

"meios de armazenamento legíveis por computador"
20 incluem meios voláteis e não voláteis, removíveis e não removíveis implementados em qualquer método ou tecnologia de armazenamento de informação, tais como instruções legível em computador, estruturas de dados, os módulos do programa, ou outros dados. Os meios de armazenamento
25 legíveis por computador incluem, mas não estão limitados a, RAM, ROM, EEPROM, memória flash ou tecnologia de memória de

outros, CD-ROM, disco digital versátil (DVD) ou de armazenamento óptico outros, cassetes magnéticos, fitas magnéticas, discos de armazenamento magnéticos ou outros magnética dispositivos de armazenamento, ou qualquer outro
5 meio que pode ser usado para armazenar a informação desejada e que pode ser acessado por um computador.

Em uma modalidade, a mídia de armazenamento legível por computador pode armazenar instruções que podem ser executadas por um processador, a fim de implementar
10 técnicas descritas neste documento. Por exemplo, os meios de armazenamento legíveis por computador podem armazenar instruções que, quando executadas por um processador, podem implementar aspectos do método 900 mostrado na Figura 9.

Embora apenas umas poucas modalidades representativas tenham sido aqui descritas em detalhes,
15 aquele usualmente versado na técnica irá facilmente notar que muitas modificações são possíveis nas modalidades representativas sem se afastar materialmente das inovadoras orientações e vantagens da presente invenção. Por exemplo,
20 as modalidades da presente invenção podem estar relacionadas aos modelos transientes bem como a modelos em estado estacionário.

- REIVINDICAÇÕES -

1. MÉTODO DE MODELAGEM DE UM SISTEMA DE PRODUÇÃO, caracterizado por compreender:

criar um modelo determinístico que representa o sistema de produção, o modelo compreendendo uma ou mais entradas de dados e parâmetros que não são deterministicamente conhecidos, e uma ou mais saída de dados;

utilizar uma função de densidade probabilística prévia para determinar uma incerteza relacionada a um primeiro de pelo menos um da entrada de dados e parâmetros que não são deterministicamente conhecidos;

obter uma medição relacionada a uma primeira das saídas de dados, onde a primeira das saída de dados é assumida ter uma incerteza de medição que é determinada utilizando uma função de densidade probabilística condicional, e em que a função de densidade probabilística condicional é condicionada em pelo menos um da entrada de dados ou parâmetros que não são deterministicamente conhecidos; e

determinar uma função de densidade probabilística posterior da primeira de pelo menos um da entrada de dados e parâmetros que não são deterministicamente conhecidos usando a função de densidade probabilística prévia, a medição, e a função de densidade probabilística condicional.

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por adicionalmente compreender uma pluralidade de etapas temporais, e ainda compreender:

5 utilizar uma primeira função de densidade probabilística posterior de uma primeira etapa temporal da pluralidade de etapas temporais como a função de densidade probabilística prévia quando da determinação da densidade probabilística posterior de uma segunda etapa temporal da pluralidade de etapas temporais.

10 3. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por adicionalmente compreender realizar uma análise de risco com base na função de densidade probabilística posterior.

15 4. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por a determinação da função de densidade probabilística posterior compreender gerar de forma randômica a função de densidade probabilística posterior com base no primeiro de pelo menos um da entrada de dados e parâmetros que não são deterministicamente conhecidos.

20 5. Método, de acordo com a reivindicação 4, caracterizado por a geração de forma randômica da função de densidade probabilística posterior compreender utilizar amostragem Monte Carlo para determinar a função de densidade probabilística posterior.

25 6. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por o modelo ser escolhido a partir de um

grupo consistindo de modelos transientes e/ou modelos em estado estacionário.

7. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por adicionalmente compreender produzir uma tomada de decisão econômica com base na densidade probabilística posterior.

8. MEIO LEGÍVEL POR COMPUTADOR POSSUINDO UM CONJUNTO DE INSTRUÇÕES LEGÍVEIS POR COMPUTADOR NELE RESIDENTES, caracterizado por essas instruções, quando executadas, realizarem atos que compreendem:

criar um modelo determinístico que representa o sistema de produção, o modelo compreendendo uma ou mais entradas de dados e parâmetros que não são deterministicamente conhecidos, e uma ou mais saída de dados;

utilizar uma função de densidade probabilística prévia para determinar uma incerteza relacionada a um primeiro de pelo menos um da entrada de dados e parâmetros que não são deterministicamente conhecidos;

obter uma medição relacionada a uma primeira das saídas de dados, onde a primeira das saída de dados é assumida ter uma incerteza de medição que é determinada utilizando uma função de densidade probabilística condicional, e em que a função de densidade probabilística condicional é condicionada em pelo menos um da entrada de

dados ou parâmetros que não são deterministicamente conhecidos; e

determinar uma função de densidade probabilística posterior da primeira de pelo menos um da entrada de dados e parâmetros que não são deterministicamente conhecidos usando a função de densidade probabilística prévia, a medição, e a função de densidade probabilística condicional.

9. Meio legível por computador, de acordo com a reivindicação 8, caracterizado por adicionalmente compreender uma pluralidade de etapas temporais, e ainda compreender:

utilizar uma primeira função de densidade probabilística posterior de uma primeira etapa temporal da pluralidade de etapas temporais como a função de densidade probabilística prévia quando da determinação da densidade probabilística posterior de uma segunda etapa temporal da pluralidade de etapas temporais.

10. Meio legível por computador, de acordo com a reivindicação 8, caracterizado por os atos adicionalmente compreenderem realizar uma análise de risco com base na função de densidade probabilística posterior.

11. Meio legível por computador, de acordo com a reivindicação 8, caracterizado por a determinação da função de densidade probabilística posterior compreender gerar de forma randômica a função de densidade probabilística

posterior com base no primeiro de pelo menos um da entrada de dados e parâmetros que não são deterministicamente conhecidos.

12. Meio legível por computador, de acordo com a reivindicação 11, caracterizado por a geração de forma randômica da função de densidade probabilística posterior compreender utilizar amostragem Monte Carlo para determinar a função de densidade probabilística posterior.

13. Meio legível por computador, de acordo com a reivindicação 8, caracterizado por o modelo ser escolhido a partir de um grupo consistindo de modelos transientes e/ou modelos em estado estacionário.

14. Meio legível por computador, de acordo com a reivindicação 8, caracterizado por adicionalmente compreender produzir uma tomada de decisão econômica com base na densidade probabilística posterior.

15. DISPOSITIVO DE COMPUTAÇÃO, caracterizado por compreender:

uma memória;

20 um ou mais processadores operacionalmente acoplados à memória;

funcionalidade operável por processadores para executar um método, em que o método compreende:

25 criar um modelo determinístico que representa o sistema de produção, o modelo compreendendo uma ou mais entradas de dados e parâmetros que não são

deterministicamente conhecidos, e uma ou mais saída de dados;

utilizar uma função de densidade probabilística prévia para determinar uma incerteza relacionada a um primeiro de pelo menos um da entrada de dados e parâmetros
5 que não são deterministicamente conhecidos;

obter uma medição relacionada a uma primeira das saídas de dados, onde a primeira das saída de dados é assumida ter uma incerteza de medição que é determinada
10 utilizando uma função de densidade probabilística condicional, e em que a função de densidade probabilística condicional é condicionada em pelo menos um da entrada de dados ou parâmetros que não são deterministicamente conhecidos; e

determinar uma função de densidade probabilística posterior da primeira de pelo menos um da entrada de dados e parâmetros que não são deterministicamente conhecidos usando a função de densidade probabilística prévia, a medição, e a função de densidade probabilística
15 condicional.
20

16. Dispositivo de computação, de acordo com a reivindicação 15, caracterizado por adicionalmente compreender uma pluralidade de etapas temporais, e ainda compreender:

25 utilizar uma primeira função de densidade probabilística posterior de uma primeira etapa temporal da

pluralidade de etapas temporais como a função de densidade probabilística prévia quando da determinação da densidade probabilística posterior de uma segunda etapa temporal da pluralidade de etapas temporais.

5 17. Dispositivo de computação, de acordo com a reivindicação 15, caracterizado por adicionalmente realizar uma análise de risco com base na função de densidade probabilística posterior.

10 18. Dispositivo de computação, de acordo com a reivindicação 15, caracterizado por a determinação da função de densidade probabilística posterior compreender gerar de forma randômica a função de densidade probabilística posterior com base no primeiro de pelo menos um da entrada de dados e parâmetros que não são
15 deterministicamente conhecidos.

19. Dispositivo de computação, de acordo com a reivindicação 18, caracterizado por a geração de forma randômica da função de densidade probabilística posterior compreender utilizar amostragem Monte Carlo para determinar
20 a função de densidade probabilística posterior.

20. Dispositivo de computação, de acordo com a reivindicação 15, caracterizado por o modelo ser escolhido a partir de um grupo consistindo de modelos transientes e/ou modelos em estado estacionário.

FIG. 1

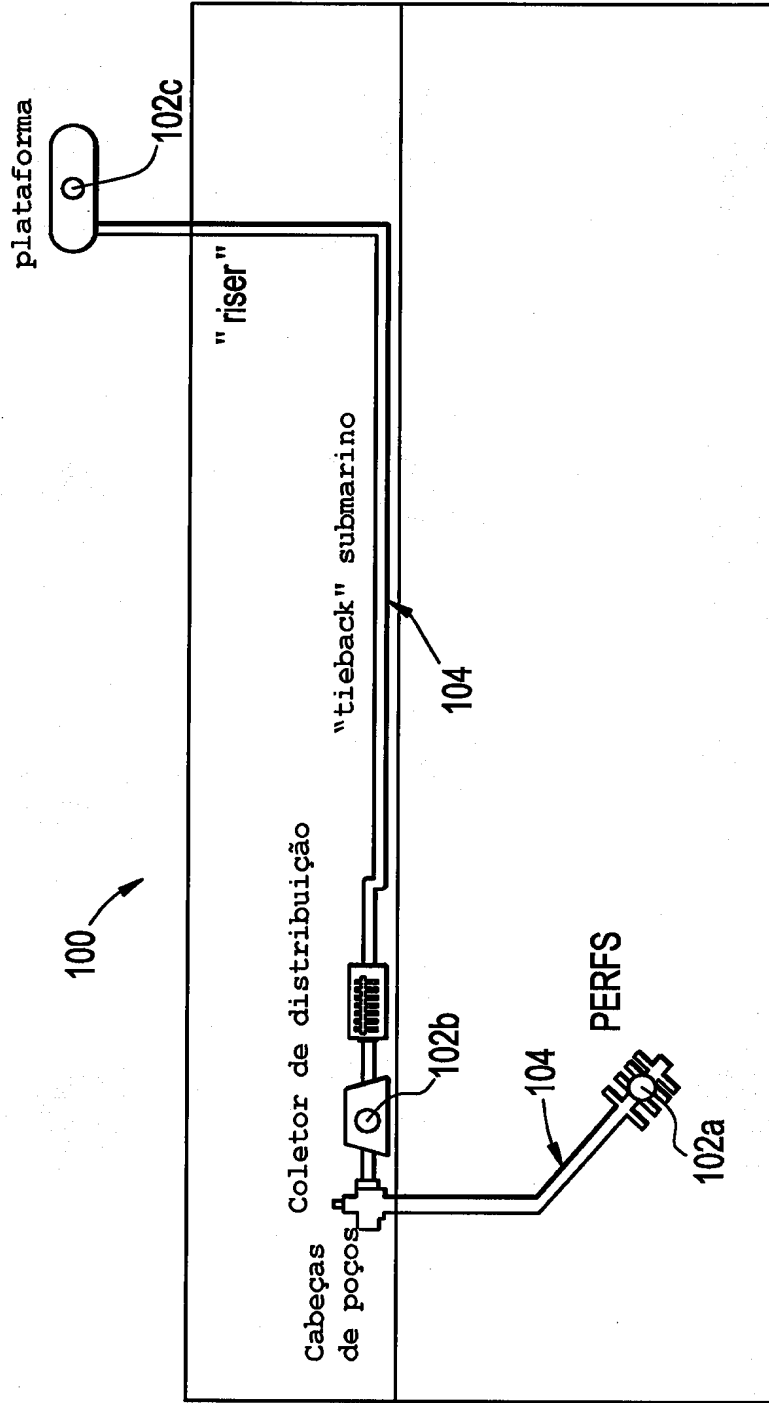


FIG. 2

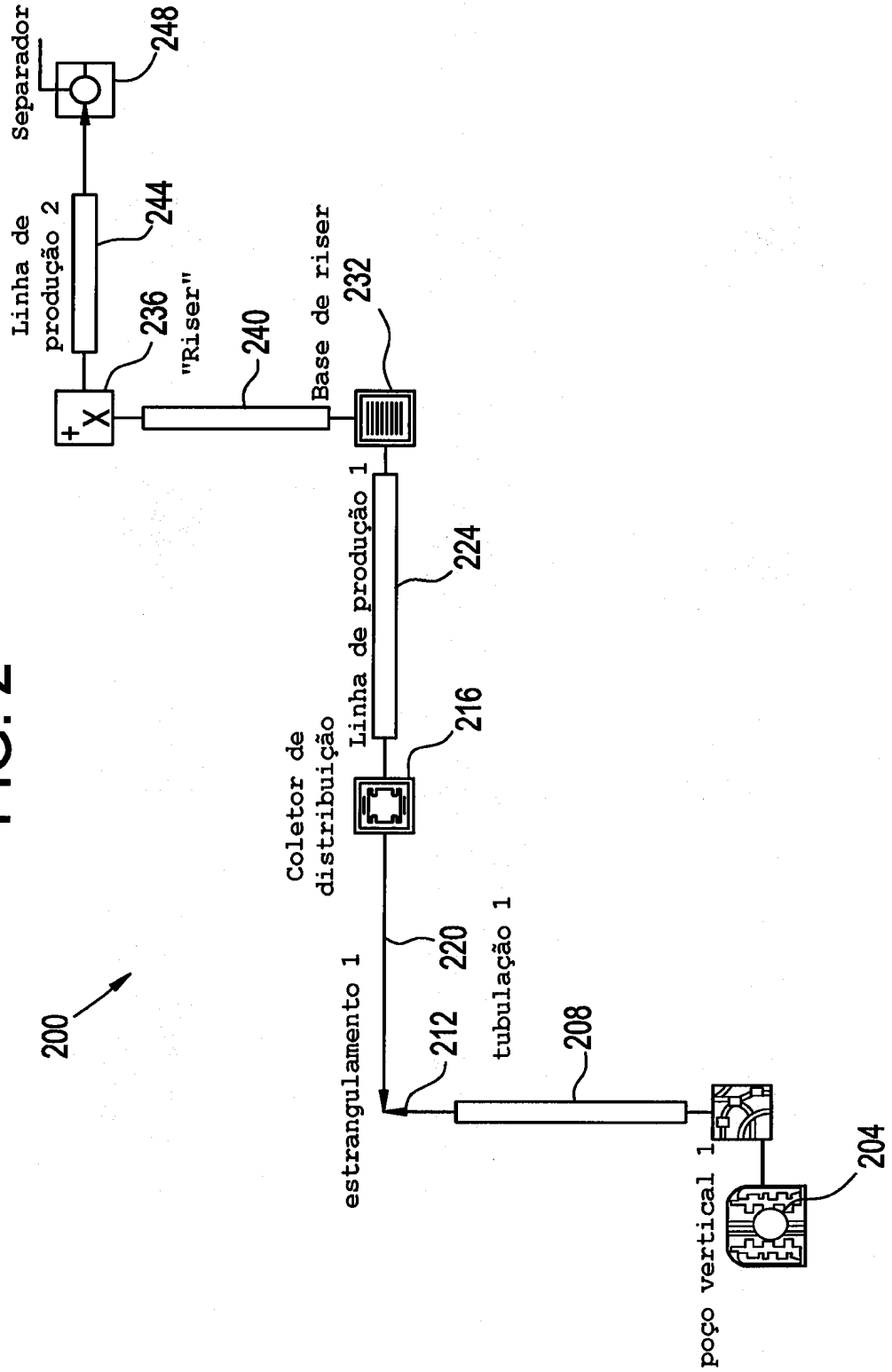


FIG. 3

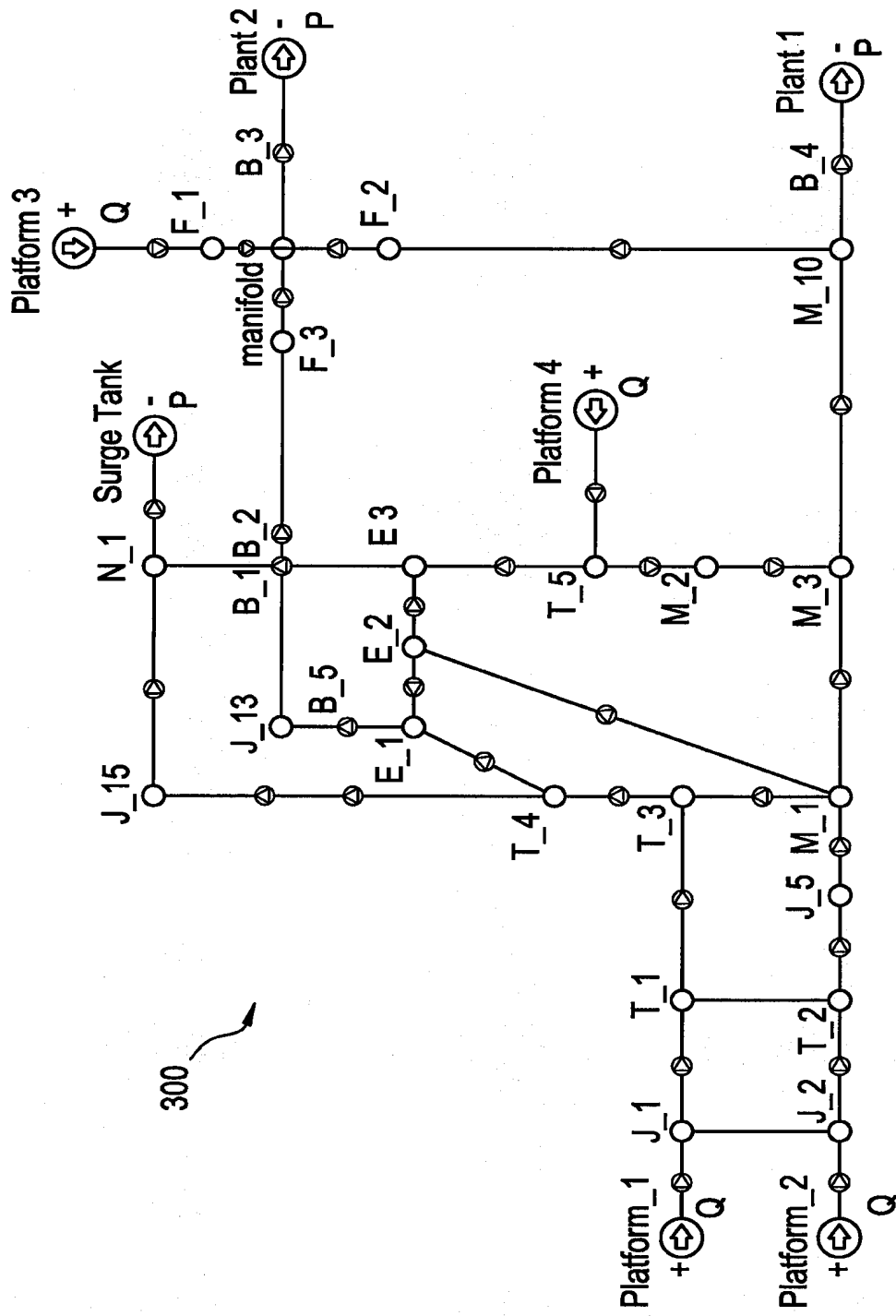


FIG. 4

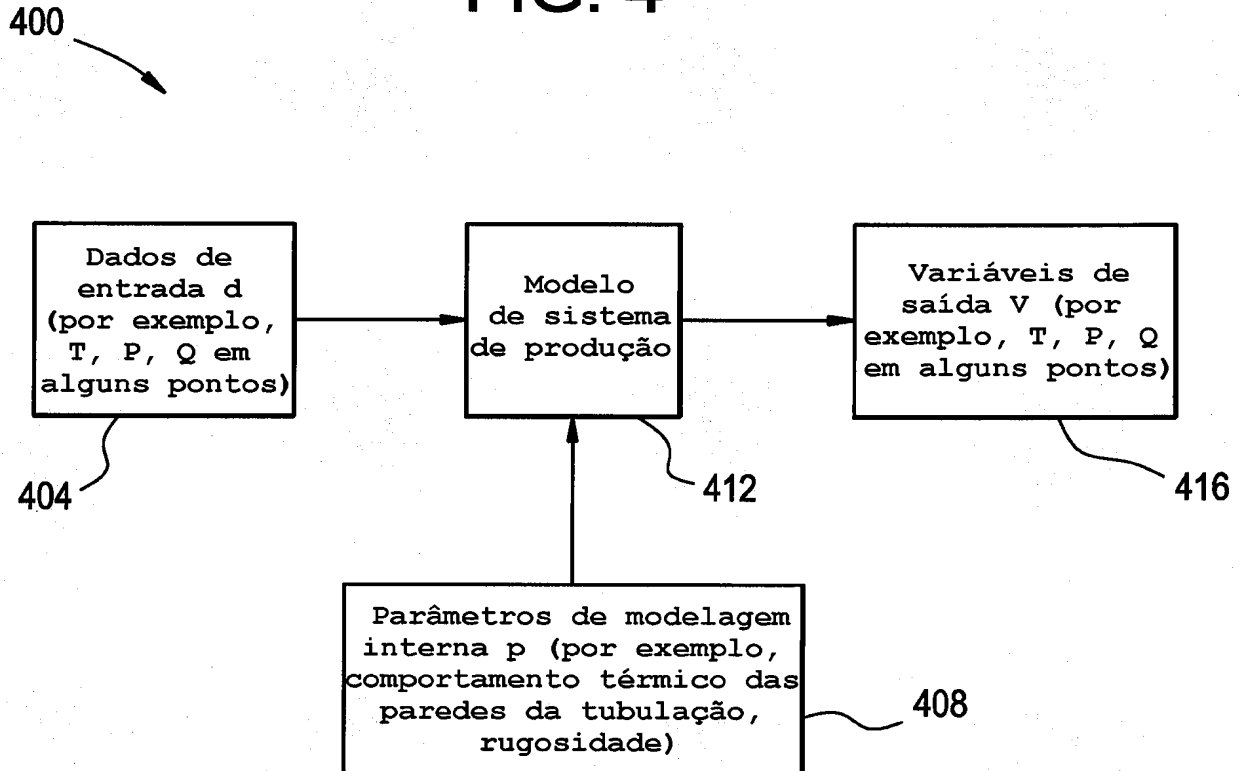


FIG. 5

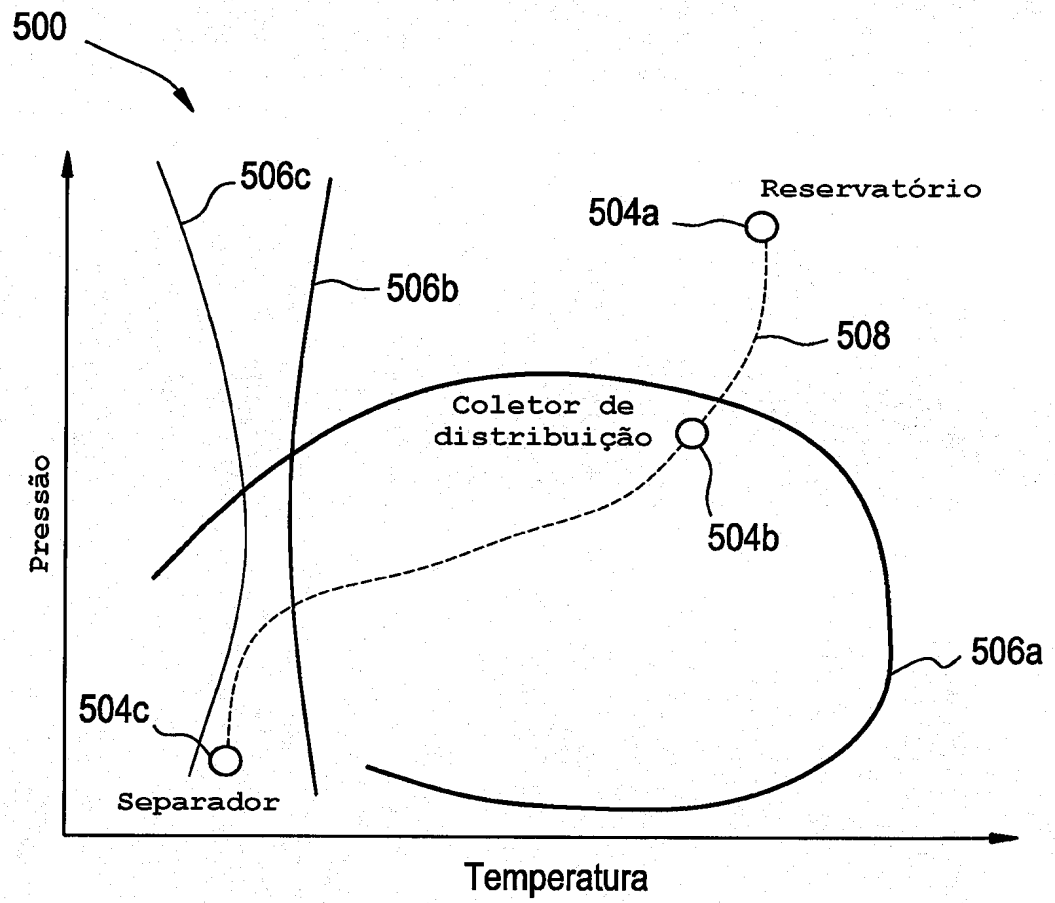


FIG. 6

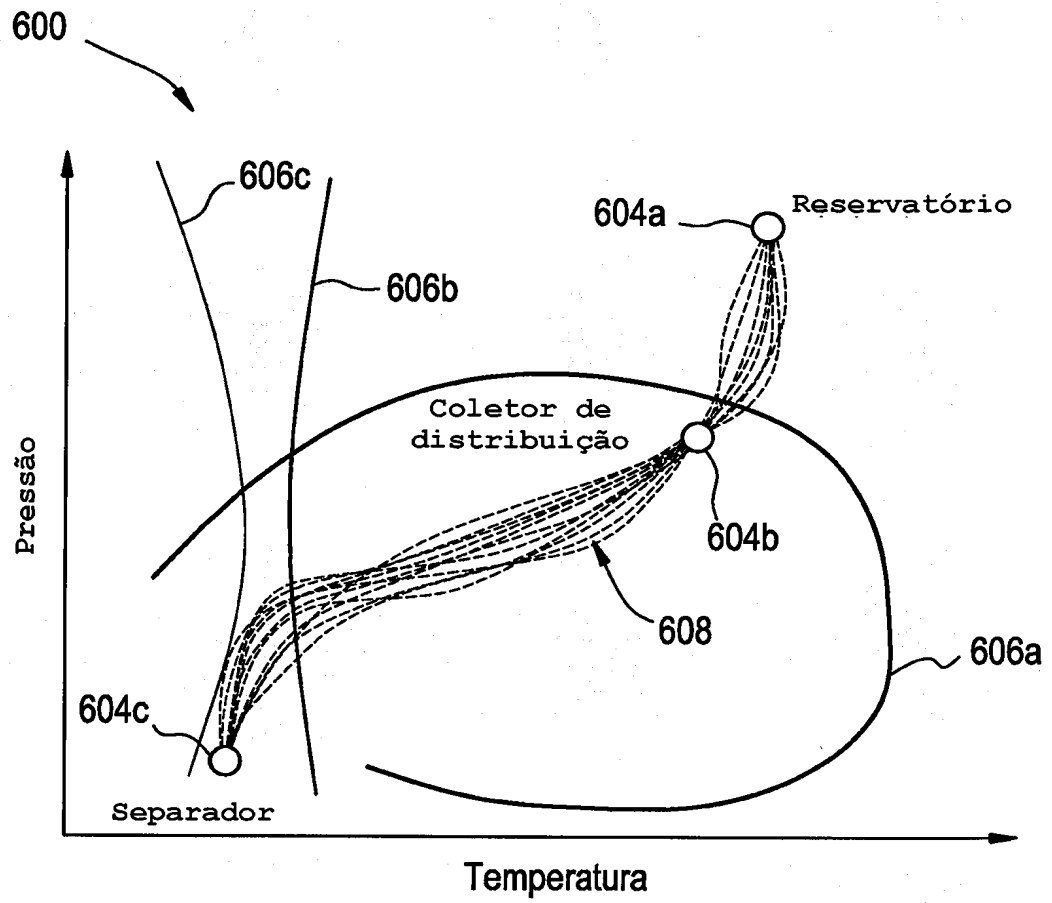


FIG. 7A

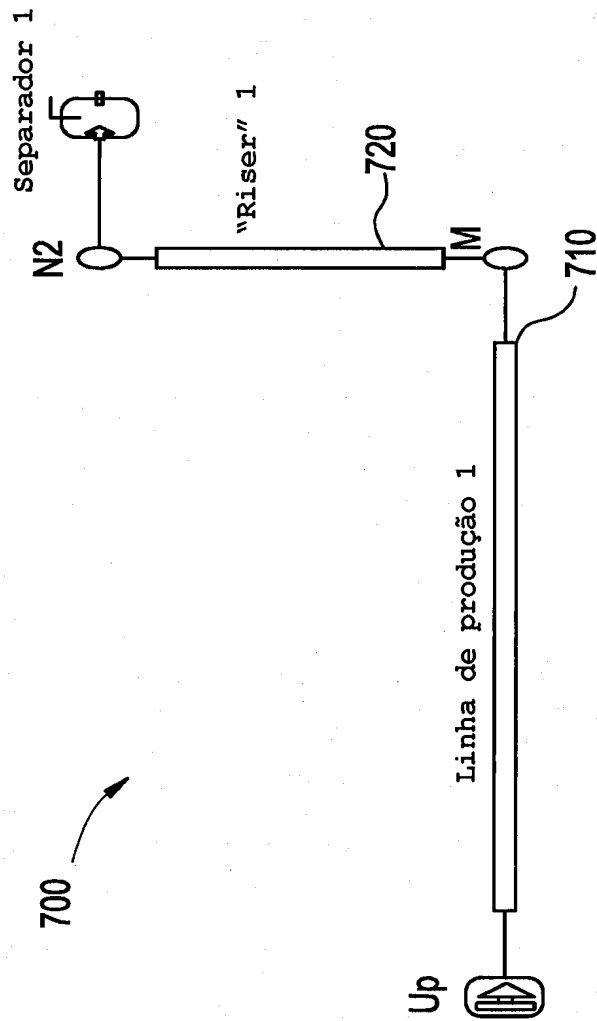
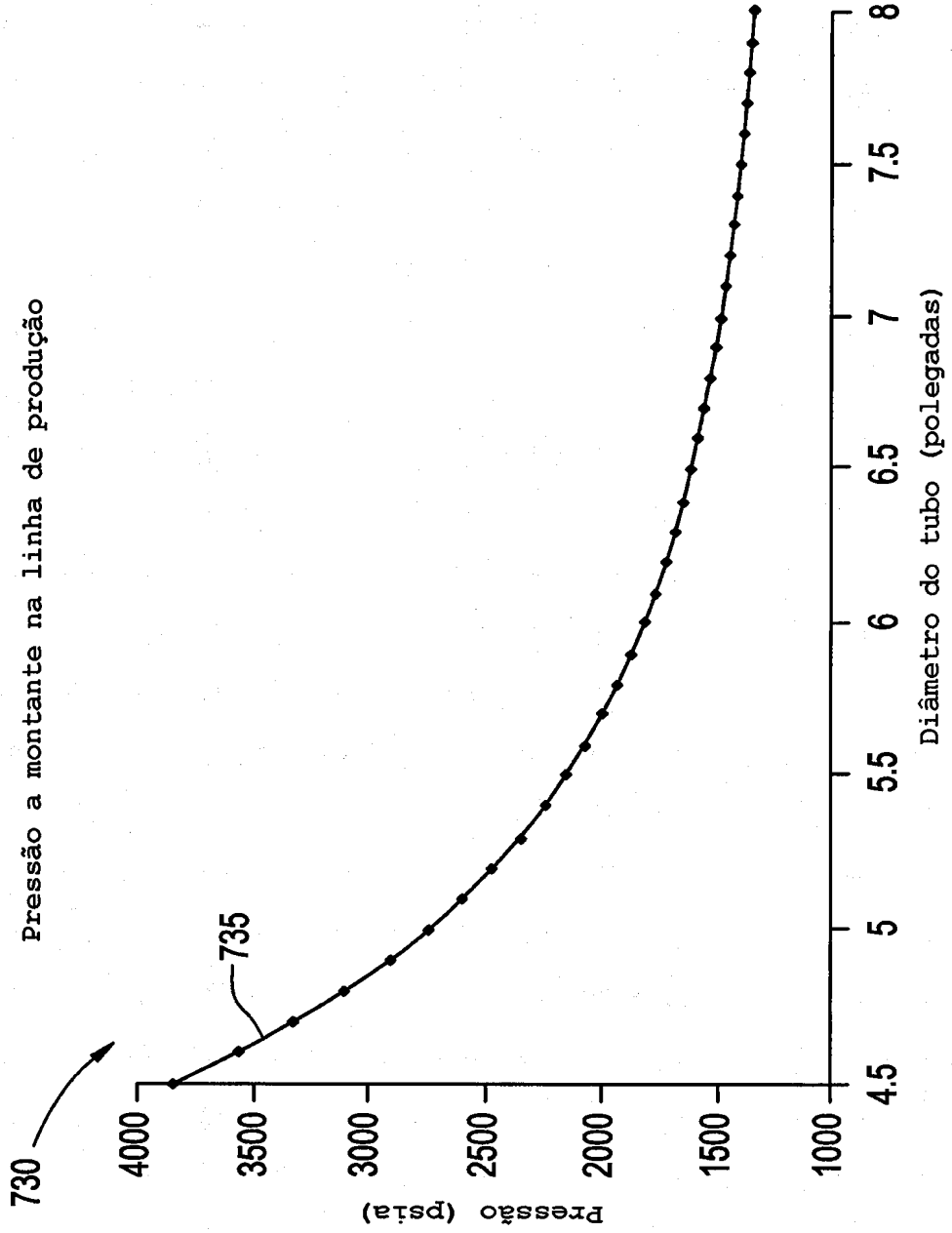


FIG. 7B

Pressão a montante na linha de produção



730

735

Pressão (psia)

Diâmetro do tubo (polegadas)

FIG. 7C

PDF prévio para o diâmetro do tubo

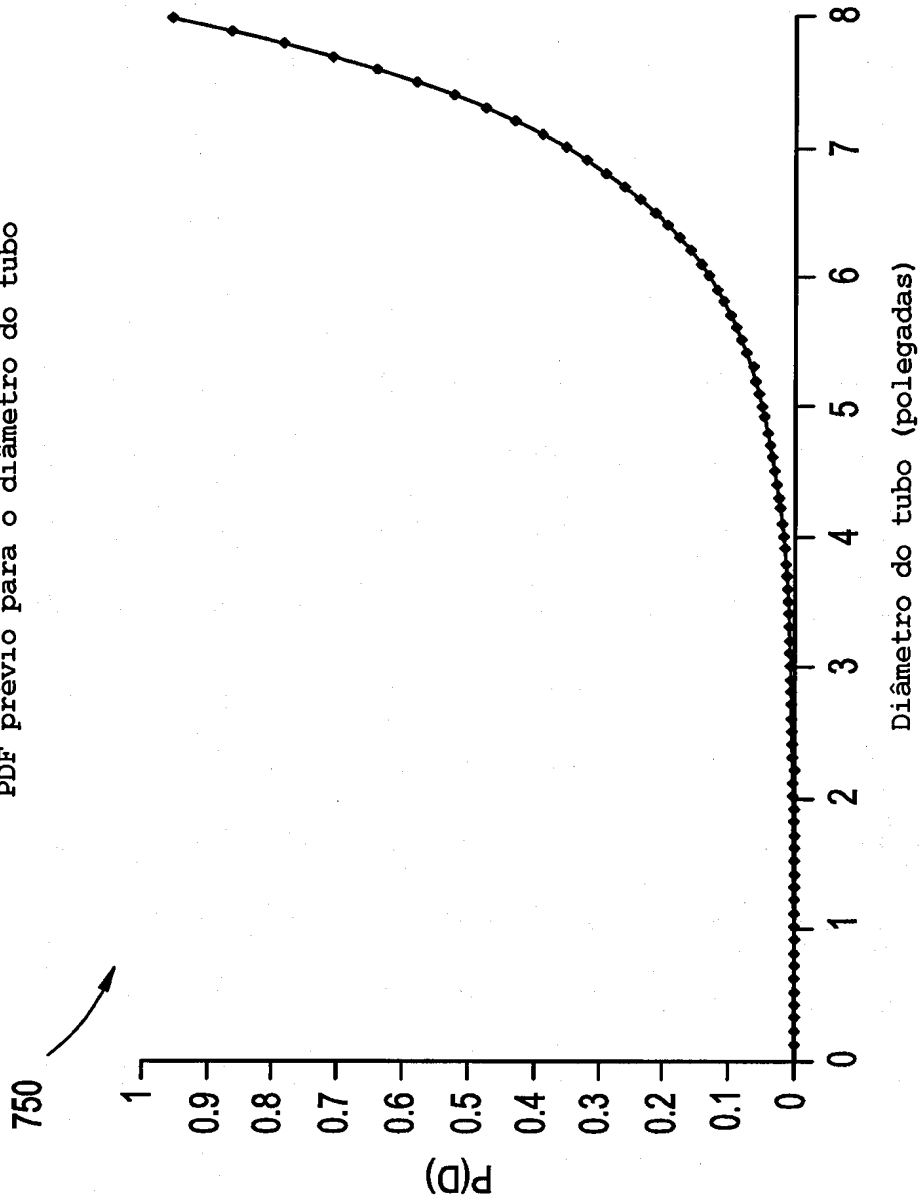


FIG. 7D

PDF posterior para o diâmetro do tubo

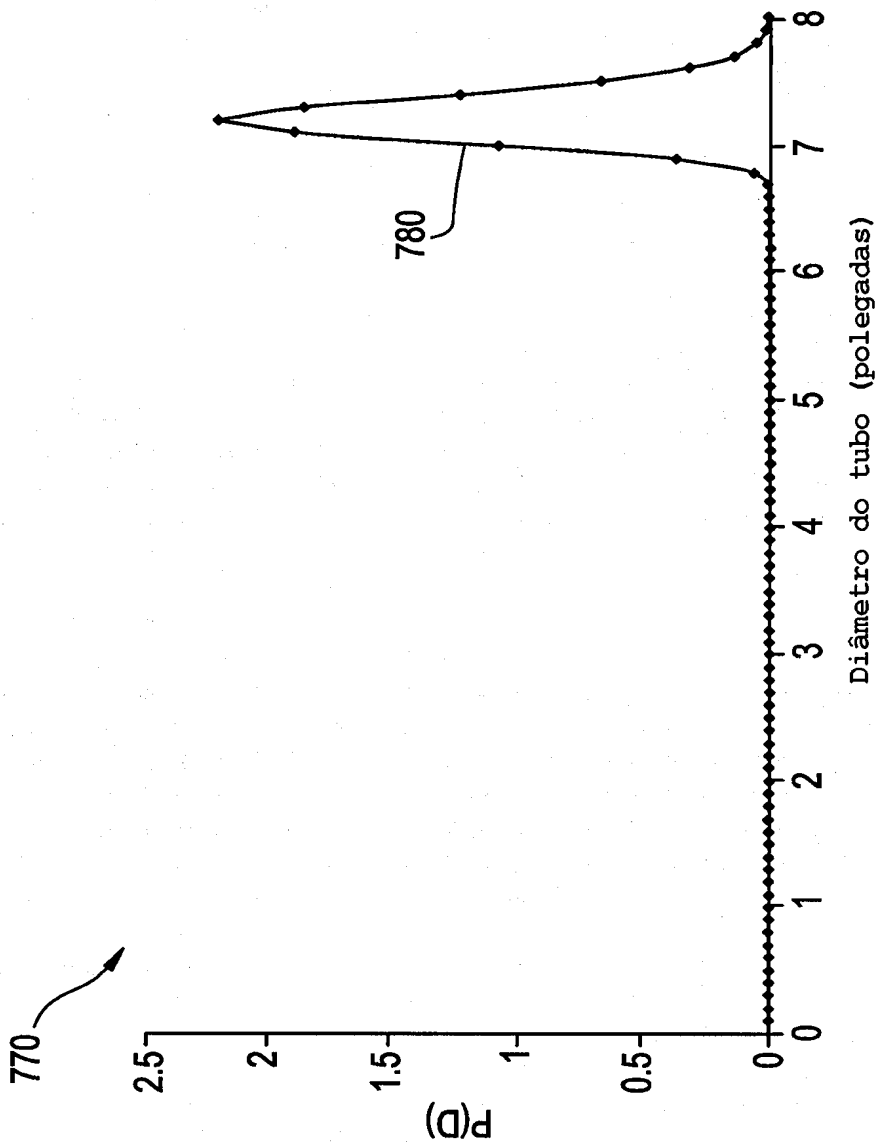


FIG. 8

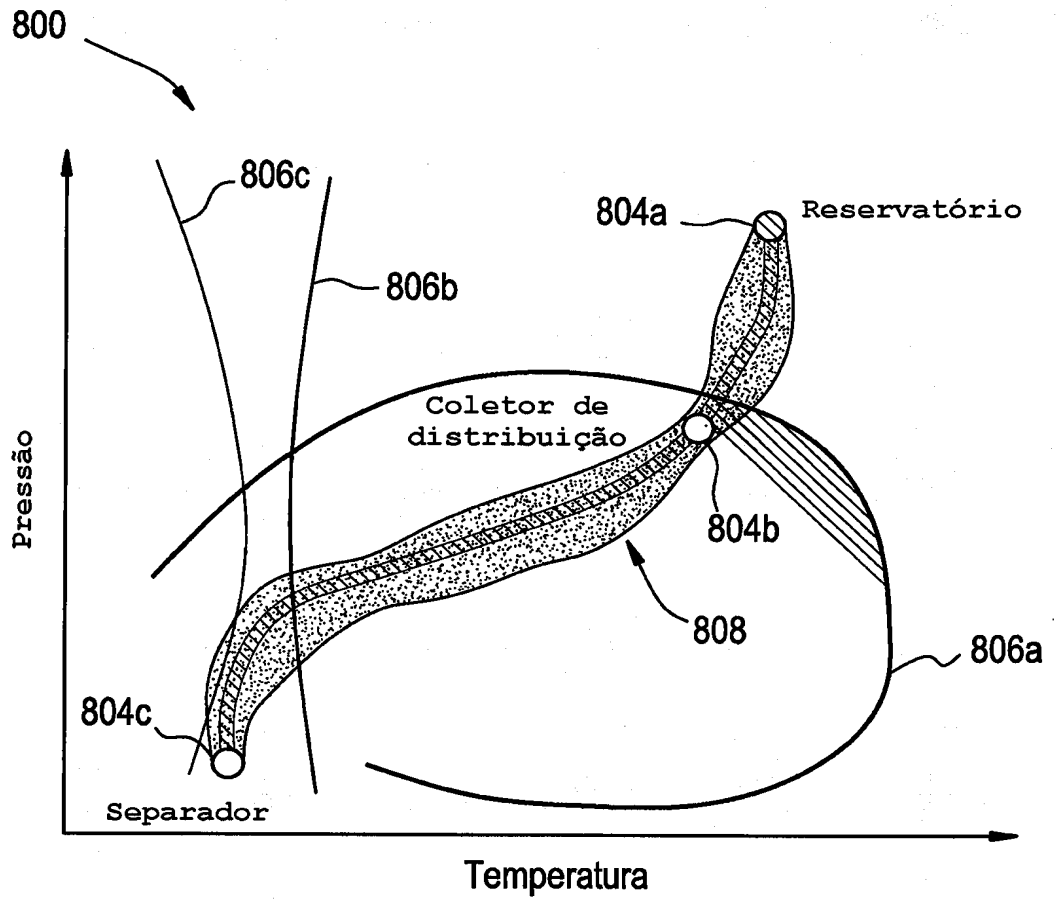


FIG. 9

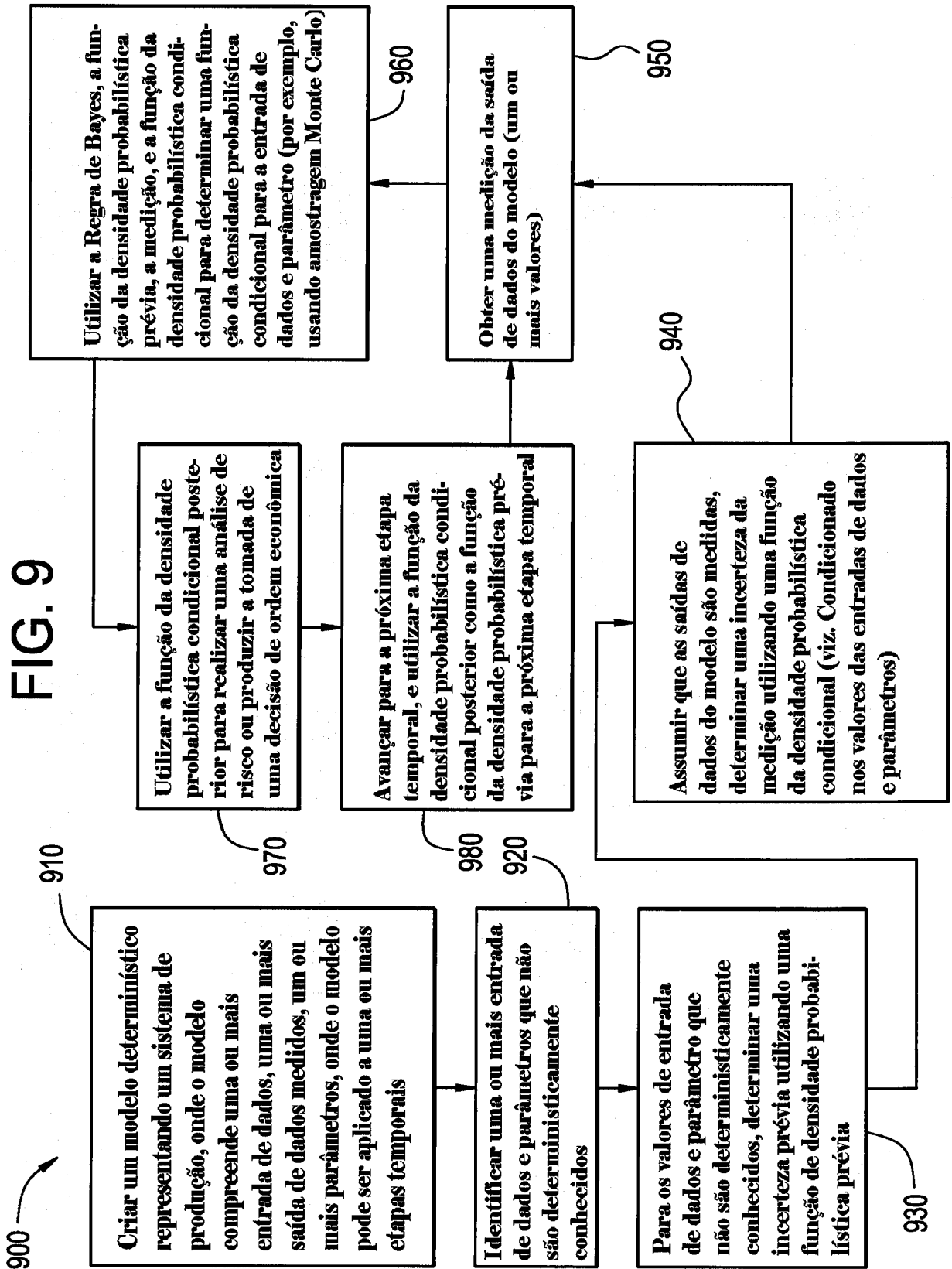
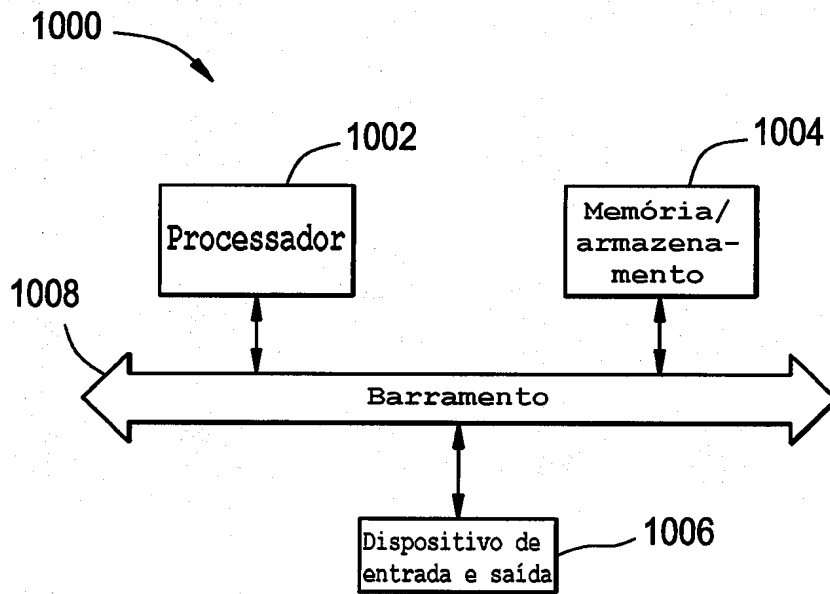


FIG. 10



- RESUMO -

MÉTODO DE MODELAGEM DE UM SISTEMA DE PRODUÇÃO, MEIO LEGÍVEL POR COMPUTADOR POSSUINDO UM CONJUNTO DE INSTRUÇÕES LEGÍVEIS POR COMPUTADOR NELE RESIDENTES, E DISPOSITIVO DE COMPUTAÇÃO

5 Modalidades da presente invenção incluem um método que inclui a criação de um modelo determinístico que representa um sistema de produção. O modelo pode incluir uma ou mais entradas de dados e parâmetros que não são deterministicamente conhecidos, e uma ou mais saídas de dados. A função de densidade probabilística prévia pode ser usada para determinar o nível de incerteza prévia, e uma medida relacionada com a primeira das saídas de dados pode ser obtida. O método pode também incluir a determinação de uma função de densidade probabilística posterior usando a

10 função de densidade probabilística prévia, a medida, e uma função de densidade probabilística condicional. Modalidades da presente invenção também incluem um meio legível por computador dotado com um conjunto de instruções legíveis por computador nele residente as quais, quando executadas,

15 realizam atos compreendendo o método mencionado. Modalidades da presente invenção incluem ainda um dispositivo de computação que inclui uma memória, um ou mais processadores operacionalmente acoplados à memória e funcionalidade operável por processadores para executar o

20 método mencionado.

25 método mencionado.