



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

(21) **PI 0901425-0 A2**



(22) Data de Depósito: 26/02/2009
(43) Data da Publicação: 28/02/2012
(RPI 2147)

(51) *Int.Cl.:*
G06Q 90/00

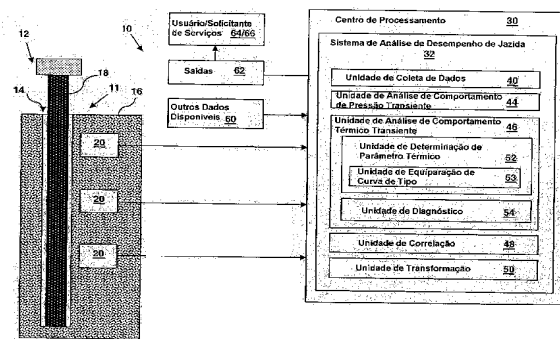
(54) Título: MÉTODO PARA ANÁLISE DE DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE DESENVOLVIMENTO DE JAZIDA, SISTEMA PARA ANÁLISE DE DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE DESENVOLVIMENTO DE JAZIDA, PRODUTO DE PROGRAMA DE COMPUTADOR PARA ANÁLISE DE DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE DESENVOLVIMENTO DE JAZIDA, MÉTODO DE PROVISÃO DE UM SISTEMA PARA ANÁLISE DE DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE DESENVOLVIMENTO DE JAZIDA, E MÉTODO PARA REALIZAÇÃO DE UMA ANÁLISE DE EQUIPARAÇÃO DE CURVA DE TIPO DE UMA RESPOSTA DE COMPORTAMENTO TÉRMICO TRANSIENTE DE UM SISTEMA DE DESENVOLVIMENTO DE JAZIDA

(57) Resumo: MÉTODO PARA ANÁLISE DE DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE DESENVOLVIMENTO DE JAZIDA, SISTEMA PARA ANÁLISE DE DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE DESENVOLVIMENTO DE JAZIDA, PRODUTO DE PROGRAMA DE COMPUTADOR PARA ANÁLISE DE DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE DESENVOLVIMENTO DE JAZIDA, MÉTODO DE PROVISÃO DE UM SISTEMA PARA ANÁLISE DE DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE DESENVOLVIMENTO DE JAZIDA, E MÉTODO PARA REALIZAÇÃO DE UMA ANÁLISE DE EQUIPARAÇÃO DE CURVA DE TIPO DE UMA RESPOSTA DE COMPORTAMENTO TÉRMICO TRANSIENTE DE UM SISTEMA DE DESENVOLVIMENTO DE JAZIDA. É divulgada uma solução para análise de um desempenho de um sistema de desenvolvimento de jazida. Um método pode incluir: recepção de dados de comportamento térmico transiente para o sistema de desenvolvimento de jazida; determinação de um parâmetro térmico do sistema de desenvolvimento de jazida com base nos dados de comportamento térmico transiente; e análise de um desempenho de comportamento térmico transiente do sistema de desenvolvimento de jazida com base no parâmetro térmico.

(30) Prioridade Unionista: 27/02/2008 US 12/038.270

(73) Titular(es): Prad Research And Development Limited

(72) Inventor(es): Bobby Dale Poe Jr.





MÉTODO PARA ANÁLISE DE DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE
DESENVOLVIMENTO DE JAZIDA, SISTEMA PARA ANÁLISE DE
DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE DESENVOLVIMENTO DE JAZIDA,
PRODUTO DE PROGRAMA DE COMPUTADOR PARA ANÁLISE DE
5 DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE DESENVOLVIMENTO DE JAZIDA,
MÉTODO DE PROVISÃO DE UM SISTEMA PARA ANÁLISE DE DESEMPENHO
DE UM SISTEMA DE DESENVOLVIMENTO DE JAZIDA, E MÉTODO PARA
REALIZAÇÃO DE UMA ANÁLISE DE EQUIPARAÇÃO DE CURVA DE TIPO
DE UMA RESPOSTA DE COMPORTAMENTO TÉRMICO TRANSIENTE DE UM
10 SISTEMA DE DESENVOLVIMENTO DE JAZIDA

CAMPO DA INVENÇÃO

A presente divulgação refere-se na generalidade a
desenvolvimento de jazidas, e refere-se mais
particularmente à análise de um desempenho dinâmico de um
15 sistema de desenvolvimento de jazida baseado em dados de
comportamento térmico transiente.

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

As propriedades hidráulicas de um sistema de
desenvolvimento de jazida precisam ser constantemente
20 monitoradas ou simuladas durante o tempo de vida útil de
uma jazida de petróleo ou gás. Um sistema de
desenvolvimento de jazida inclui geralmente um furo de poço
e fluidos associados e a formação geológica e fluidos
associados. Por exemplo, a permeabilidade é a medida da
25 capacidade de um material para transmitir fluidos, que é
muito importante na determinação das características

dinâmicas de fluxo de hidrocarbonetos em jazidas de petróleo e/ou gás. As formações geológicas são complexas e heterogêneas e dessa forma a permeabilidade não tem uma distribuição uniforme, o que requer esforços substanciais para obtenção e análise de dados para determinação da distribuição de permeabilidade. Devido a diversas limitações tecnológicas e de custos, pode ser relativamente difícil obter os dados necessários para determinação de uma propriedade hidráulica e/ou para realização de uma análise de desempenho de comportamento de pressão transiente de um sistema de desenvolvimento de jazida.

Adicionalmente, na prática atual na indústria do petróleo, não existem soluções para avaliação quantitativa do comportamento térmico transiente de poços de produção ou injeção de petróleo e/ou gás. A maioria das pesquisas relatadas têm sido somente focalizadas em análises de estado estável que são utilizadas para estimativa do fluxo relativo de ingresso para o interior de um furo de poço a partir dos intervalos completados do furo de poço. Os dados de medições térmicas não têm sido utilizados para avaliação de um desempenho de comportamento térmico transiente de um sistema de desenvolvimento de jazida.

Adicionalmente, as soluções existentes que utilizam medições térmicas são apenas aplicáveis em poços verticais não fraturados e não foram providas soluções para poços desviados ou inclinados, verticalmente fraturados, horizontais, ou poços ramificados complexos.

Adicionalmente, as soluções existentes que utilizam medições térmicas não são comparáveis às soluções de transientes de pressão/teste de fluxo de fluido, por exemplo em termos de escopo, abrangência e/ou complexidade, e dessa forma as soluções térmicas existentes não proporcionam informações suficientes relativas ao desempenho/comportamento dinâmico de um poço e da respectiva formação geológica.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

10 Em uma configuração, é provido um método para análise de desempenho de um sistema de desenvolvimento de jazida. Nesta configuração, o método compreende: recepção de dados de comportamento térmico transiente para o sistema de desenvolvimento de jazida; determinação de um parâmetro 15 térmico do sistema de desenvolvimento de jazida com base nos dados de comportamento térmico transiente; e análise de um desempenho de comportamento térmico transiente do sistema de desenvolvimento de jazida com base no parâmetro térmico.

20 Em uma segunda configuração, é provido um sistema para análise de desempenho de um sistema de desenvolvimento de jazida. Nesta configuração, o sistema compreende: meios para recepção de dados de comportamento térmico transiente para o sistema de desenvolvimento de jazida; meios para 25 determinação de um parâmetro térmico do sistema de desenvolvimento de jazida com base nos dados de comportamento térmico transiente; e meios para análise de

um desempenho térmico transiente do sistema de desenvolvimento de jazida com base no parâmetro térmico.

Em uma terceira configuração, é provido um produto de programa de computador para análise de desempenho de um sistema de desenvolvimento de jazida. Nesta configuração, o produto de programa de computador compreende código de programa passível de utilização em computador que é armazenado em uma mídia passível de leitura em computador que, quando executado por um sistema de computador, permite que o sistema de computador: receba dados de comportamento térmico transiente para o sistema de desenvolvimento de jazida; determina um parâmetro térmico do sistema de desenvolvimento de jazida com base nos dados de comportamento térmico transiente; e analise um desempenho térmico transiente do sistema de desenvolvimento de jazida com base no parâmetro térmico.

Em uma quarta configuração, é provido um método para provisão de um sistema para análise de desempenho de um sistema de desenvolvimento de jazida. Nesta configuração, o método compreende pelo menos um de entre criação, manutenção, colocação em operação e provisão de suporte a uma infra-estrutura de computador operável para: receber dados de comportamento térmico transiente para o sistema de desenvolvimento de jazida; determinar um parâmetro térmico do sistema de desenvolvimento de jazida com base nos dados de comportamento térmico transiente; e analisar o desempenho térmico transiente do sistema de

desenvolvimento de jazida com base no parâmetro térmico.

Em uma quinta configuração, é provido um método para realização de uma análise do tipo de equiparação de curva de uma resposta térmica transiente de um sistema de desenvolvimento de jazida. Nesta configuração, o método compreende: construção de um conjunto de curva de tipo térmico transiente gráfica não dimensional, o conjunto de curva de tipo incluindo pelo menos um de: uma temperatura de furo de poço não dimensional (T_{WD}) ou um produto de um tempo Fourier normalizado de armazenamento térmico de furo de poço não dimensional e um derivado da temperatura de furo de poço não dimensional com relação ao tempo Fourier não dimensional $[(t_{DFo}/C_{DT}) * dT_{WD}/d(t_{DFo}/C_{DT})]$ como função do tempo Fourier não dimensional dividido por um armazenamento térmico de furo de poço não dimensional (t_{DFo}/C_{DT}); e produção como saída do conjunto de curva de tipo para realização da análise de equiparação de curva de tipo.

Outros aspectos e características da presente invenção, conforme unicamente definidos pelas reivindicações, e vantagens adicionais da invenção, irão tornar-se aparentes para aqueles que são versados na técnica mediante referência à descrição detalhada não limitada que se encontra a seguir considerada em combinação com as figuras providas em anexo.

25

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

A divulgação é ilustrada a título de exemplo e não pretende ser limitada pelas figuras dos desenhos em anexo,

em que numerais de referência idênticos indicam elementos similares e em que:

A FIG. 1 ilustra esquematicamente um sistema de acordo com uma configuração da divulgação.

5 A FIG. 2 ilustra um diagrama de fluxo da operação de um sistema de análise de desempenho de jazida.

A FIG. 3 ilustra um exemplo de conjunto de curva de tipo de comportamento térmico transiente.

10 A FIG. 4 ilustra dados de resposta de temperatura e pressão de furo de poço fechado de um caso exemplar de teste dinâmico de jazida.

A FIG. 5 ilustra um gráfico de diagnóstico de pressão transiente para os dados transientes de condição de poço fechado da FIG. 4.

15 A FIG. 6 ilustra um gráfico de diagnóstico de comportamento térmico transiente para os dados transientes de condição de poço fechado da FIG. 4.

20 A FIG. 7 ilustra uma análise de equiparação de curva de tipo de transiente de pressão dos dados de resposta de pressão transiente de condição de poço fechado da FIG. 4.

25 A FIG. 8 ilustra uma análise de equiparação de curva de tipo de transiente térmico dos dados de resposta de comportamento térmico transiente da FIG. 4 com utilização do conjunto de curva de tipo da FIG. 3.

A FIG. 9 ilustra uma análise de fluxo térmico de atuação infinita.

Observa-se que os desenhos não se encontram necessariamente em escala.

DESCRIÇÃO DETALHADA DA DIVULGAÇÃO

As vantagens e características da presente invenção
5 poderão ser mais prontamente entendidas mediante referência
à descrição detalhada que se encontra a seguir de
configurações ilustrativas e com referência aos desenhos em
anexo. A presente invenção pode entretanto ser configurada
de muitas formas diferentes, e não deverá ser interpretada
10 com encontrando-se limitada às configurações aqui
apresentadas. Ao invés disso, estas configurações são
providas para que a presente divulgação possa transmitir
plenamente o conceito da invenção para aqueles que são
versados na técnica, e a presente invenção somente será
15 definida pelas reivindicações que se encontram em anexo.
Numerais de referência idênticos referem elementos
idênticos através de todo o relatório descritivo.

1. Visão Geral do Sistema

Fazendo referência à FIG. 1, encontra-se ilustrado
20 na mesma um diagrama esquemático de um sistema ilustrativo
10 para análise de desempenho de um sistema de
desenvolvimento 12 de uma jazida 11. O sistema 12 de
desenvolvimento de jazida inclui um furo de poço 14 e
fluidos associados, uma formação geológica 16 e fluidos
25 associados, e um sistema 18 de produção e completação
incluindo, sem limitações, um conduto de fluido no furo de
poço 14 que pode incluir o revestimento, uma tubagem, e

acessórios de completação tais como perfurações, completações de tampão de cascalho, telas, forros, e agentes de escoramento ("proppants"). Muito embora seja ilustrado na forma de um furo de poço vertical, o furo de poço 14 pode consistir em qualquer tipo de furo de poço, tal como um furo de poço totalmente ou parcialmente penetrante, vertical ou inclinado, furos de poço fraturados verticalmente ou horizontalmente, e qualquer configuração de furos de poço horizontais, de múltiplas ramificações, ou de perfil ondulante. A jazida 11 pode consistir em qualquer tipo de jazida tal como, porém não limitada a uma jazida de petróleo, uma jazida de gás natural, uma jazida de carvão mineral, ou uma jazida de água subterrânea.

O sistema 10 inclui pelo menos um dispositivo de medição 20 posicionado juntamente com o sistema 12 de desenvolvimento de jazida para medição de dados de comportamento térmico transiente /ou dados de comportamento de pressão transiente da mesma. Qualquer solução poderá ser utilizada para implementação do dispositivo de medição 20, tal como fibra ótica, um detector/fonte de laser, e um tampão e sonda. Na presente divulgação, "qualquer solução" refere-se a qualquer solução não conhecida ou desenvolvida subsequente para alcançar um objetivo. A FIG. 1 ilustra que dispositivos de medição 20 são posicionados na formação geológica 16. Os dispositivos de medição 20 podem igualmente ser localizados em outras posições tais como no interior/ao longo do furo de poço 14 e/ou no sistema 18 de

produção e completção. Os dispositivos de medição 20 comunicam os resultados de medições (dados) para um centro de processamento 30 mediante utilização de qualquer solução de comunicação.

5 O centro de processamento 30 inclui um sistema 32 de análise de desempenho de jazida. O sistema 32 de análise de desempenho de jazida inclui uma unidade 40 de coleta de dados, uma unidade 44 de análise de comportamento de pressão transiente, uma unidade 46 de análise de
10 comportamento térmico transiente, uma unidade de correlação 48, e uma unidade de transformação 50. A unidade 46 de análise de comportamento térmico transiente inclui uma unidade 52 de determinação de parâmetros térmicos incluindo uma unidade 53 de equiparação de curva de tipo, e uma
15 unidade de diagnóstico 54. Os componentes do centro de processamento 30 e/ou do sistema 32 de análise de desempenho de jazida podem ser localizados em diferentes localizações ou podem ser localizados na mesma localização.

De acordo com uma configuração, o centro de
20 processamento 30 pode ser implementado por um sistema de computador. O sistema de computador pode compreender qualquer artigo de manufatura de computação de uso geral capaz de executar código de programa de computador instalado no mesmo para realização do(s) processo(s) aqui
25 descrito(s). O sistema de computador pode igualmente compreender qualquer artigo de manufatura de computação de propósito específico compreendendo hardware e/ou código de

programa de computador para realização de funções específicas, qualquer artigo de manufatura de computação compreendendo uma combinação de software/hardware de propósito específico ou de uso geral, ou similares. Em cada caso, o código de programa e o hardware podem ser criados mediante utilização de técnicas convencionais de programação e de engenharia, respectivamente.

Adicionalmente aos dados comunicados do(s) dispositivo(s) de medição 20, o centro de processamento 30 e/ou o sistema 32 de análise de desempenho de jazida podem igualmente coletar outros dados disponíveis tais como resultados disponíveis de análises de desempenho de comportamento térmico transiente e resultados disponíveis de análises de desempenho de comportamento de pressão transiente.

As saídas 62 do centro de processamento 30 podem ser comunicadas para um usuário 64 ou um solicitante 66 de serviços. Por exemplo, as saídas 62 podem incluir os resultados de análise do sistema 32 de análise de desempenho de jazida.

A operação do sistema 10 e do sistema 32 de análise de desempenho de jazida será aqui descrita detalhadamente.

2. Metodologia Operacional

A FIG. 2 ilustra configurações da operação do sistema 32 de análise de desempenho de jazida. Fazendo referência às FIGS. 1-2, coletivamente, no processo S1, a unidade 40 de coleta de dados coleta dados de teste de

desempenho dinâmico referentes ao sistema 12 de desenvolvimento de jazida. Os dados de teste de desempenho dinâmico podem incluir dados de comportamento térmico transiente e/ou dados de comportamento de pressão transiente. Os dados de comportamento térmico transiente referem-se a dados relacionados com um desempenho térmico transiente do sistema 12 de desenvolvimento de jazida; e os dados de comportamento de pressão transiente referem-se a dados relacionados com um desempenho de pressão transiente do sistema 12 de desenvolvimento de jazida. Por exemplo, podem ser colhidos dados de detecção de temperatura distribuída ("Distributed Temperature Sensing" - DTS) para análises de desempenho de comportamento térmico transiente. Adicionalmente, a unidade 40 de coleta de dados pode igualmente coletar outros dados disponíveis tais como resultados de uma análise de desempenho de comportamento de pressão transiente realizada para o mesmo sistema 12 de desenvolvimento de jazida.

No processo S2, quando os dados de comportamento de pressão transiente se encontram disponíveis, por exemplo, foram colhidos pela unidade 40 de coleta de dados no processo S1, a unidade 44 de análise de comportamento de pressão transiente analisa o desempenho de comportamento de pressão transiente do sistema 12 de desenvolvimento de jazida. Qualquer solução pode ser utilizada na análise de desempenho de comportamento de pressão transiente no processo S2. Por exemplo, podem ser realizadas análises de

gráfico de diagnóstico quantitativas e/ou análises de equiparação de curva de tipo quantitativas. A análise de equiparação de curva de tipo (em análise de desempenho de comportamento de pressão transiente) é um método para

5 quantificação de parâmetros de poço e de jazida tais como permeabilidade, efeito pelicular ("skin effect"), meia-extensão de fratura, parâmetros de porosidade dual, e outros, mediante comparação da alteração de pressão e sua(s) derivada(s) dos dados adquiridos para famílias de

10 curvas de modelos de jazidas, designadas como curvas de tipo. Quando é encontrada uma equiparação entre os dados e uma curva de tipo, os parâmetros que caracterizam o comportamento do respectivo modelo de jazida que proporciona uma equiparação são dessa forma determinados.

15 Os resultados da análise de desempenho de comportamento de pressão transiente podem incluir difusividade hidráulica, um efeito de película de estado estável hidráulico, um nível de pressão de poro, e um fluxo de ingresso relativo para o interior do furo de poço 14 do sistema 12 de

20 desenvolvimento de jazida. Na medida em que não são requeridos detalhes adicionais da análise de desempenho de comportamento de pressão transiente para entendimento da presente divulgação, não será aqui dada nenhuma explicação adicional para maior clareza. Entretanto, o processo S2

25 será aqui adicionalmente descrito mediante utilização de um exemplo ilustrativo.

No processo S3, a unidade 46 de análise de

comportamento térmico transiente realiza uma análise de desempenho de comportamento térmico transiente do sistema 12 de desenvolvimento de jazida. Neste âmbito, o processo S3 pode incluir uma multiplicidade de sub-processos. No sub-processo S3-1, a unidade 52 de determinação de parâmetros térmicos determina um parâmetro térmico do sistema 12 de desenvolvimento de jazida com base nos dados de comportamento térmico transiente. Um parâmetro térmico pode incluir uma propriedade térmica ou uma relação entre múltiplas propriedades térmicas. Qualquer parâmetro térmico poderá ser determinado. Por exemplo, o parâmetro térmico poderá incluir condutividade térmica (k), difusividade térmica (α), efeito de película de estado estável térmico (S_T), capacidade de calor (C_P), e armazenagem térmica (C_T).

A unidade 52 de determinação de parâmetros térmicos pode determinar a quantidade de um parâmetro térmico mediante utilização de soluções matemáticas e/ou outras soluções tais como equiparação de curva de tipo. Por exemplo, as soluções matemáticas que se encontram a seguir podem ser utilizadas para determinação de alguns parâmetros térmicos ilustrativos. A relação matemática que descreve o transporte de calor de difusão térmica radial em uma mídia termicamente condutora é dada pela Equação 1:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1),$$

em que T indica temperatura, r indica distância radial desde a origem do sistema (por exemplo, o centro do furo de

poço 14, α indica difusividade térmica, e t indica tempo. A condição inicial do sistema 12 de desenvolvimento de jazida é geralmente especificada como tendo uma temperatura uniforme de princípio a fim,

$$5 \quad T = T_i \text{ com } t=0 \text{ para qualquer } r \quad (2),$$

As condições de limite interno e externo que são aplicáveis para uma retirada de fluxo térmico constante da mídia termicamente condutora são dadas aproximadamente pelas Equações 3 e 4, respectivamente:

$$10 \quad \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right)_{r_w} = \frac{Q r_w}{\kappa} \text{ for } t > 0 \quad (3),$$

$$e \quad T \rightarrow T, \text{ quando } r \rightarrow \infty \text{ para qualquer } t \quad (4),$$

em que r_w indica o raio geométrico do furo de poço 14, k indica condutividade térmica, e Q indica o fluxo térmico

O tempo Fourier não dimensional (t_{DFo}), a temperatura de comportamento térmico transiente não dimensional (T_D), a temperatura não dimensional do furo de poço (T_{wD}), o efeito de película de estado estável térmico (S_T), e a armazenagem térmica do furo de poço (C_{DT}) podem ser determinados com base nas Equações 5 até 9, e a posição radial não dimensional (r_D) no sistema 12 de desenvolvimento de jazida pode ser determinada mediante utilização da Equação 10:

$$t_{DFo} = \frac{\alpha t}{r_w^2} \quad (5),$$

$$T_D = \frac{\kappa \Delta T}{Q r_w} = \frac{\kappa (T_i - T(r, t))}{Q r_w} \quad (6),$$

$$T_{wD} = \frac{\kappa(T_i - T(r_w, t))}{Qr_w} \quad (7),$$

$$S_T = \frac{\kappa \Delta T_s}{Qr_w} \quad (8),$$

$$C_{DT} = \frac{C_T}{2\pi h r_w^2 C_p \rho} = \frac{\alpha C_T}{2\pi h r_w^2 \kappa} \quad (9),$$

$$r_D = \frac{r}{r_w} \quad (10),$$

5 em que C_p indica a capacidade de calor (calor específico a uma pressão constante), C_T indica a armazenagem térmica, T_s indica a temperatura do material sólido 16 da formação, h indica a espessura de interesse líquida 11 da jazida, e ρ indica a densidade máxima da formação 16 (sólidos mais
10 fluidos).

De acordo com as equações acima, a relação de comportamento térmico transiente que governa o processo, expressada em termos das variáveis não dimensionais, pode ser provida mediante utilização da Equação 11:

$$15 \quad \frac{\partial^2 T_D}{\partial r_D^2} + \frac{1}{r_D} \frac{\partial T_D}{\partial r_D} = \frac{\partial T_D}{\partial t_D} \quad (11),$$

em que T_D indica temperatura não dimensional, r_D indica raio geométrico não dimensional, e t_D indica tempo não dimensional. A condição inicial (comparável à da Equação 2) é dada pela Equação 12 quando expressada em termos das
20 variáveis não dimensionais:

$$T_D = 0 \text{ com } t_{DF0} = 0 \text{ para qualquer } r_D \quad (12),$$

As condições de limite interno e externo expressadas em termos das variáveis não dimensionais são dadas pelas

Equações 13 e 14, respectivamente:

$$T_{wD} = 1 \quad (13),$$

em que T_{wD} indica temperatura de furo de poço não dimensional de um histórico de taxa de fluxo variável, e

$$T_D \rightarrow 0 \text{ quando } r_D \rightarrow \infty \text{ para qualquer } t_D \quad (14),$$

A solução deste problema de valor de limite pode ser prontamente obtida mediante utilização da técnica de transformação de Laplace. A solução de espaço de Laplace para o problema de comportamento térmico transiente é dada na Equação 15:

$$\bar{T}_D(r_D, s) = \frac{K_0(r_D \sqrt{s})}{s^{3/2} K_1(\sqrt{s})} \quad (15),$$

em que s representa o parâmetro de domínio de Laplace, K_0 representa uma função de Bessel modificada do segundo tipo de ordem zero, e K_1 representa uma função Bessel modificada do segundo tipo de ordem um. Os valores de espaço real desta solução transformada (Equação 15) podem ser prontamente obtidos mediante utilização de um algoritmo de inversão de transformação Laplace de tipo numérico, tal como aquele relatado por Stehfest em "Numerical Inversion of Laplace Transforms" [*Inversão Numérica de Transformações Laplace*], *Communications of the ACM* (janeiro de 1970) 13, N° 1, 47-49.

A aproximação de tempo longo da Equação 5 consiste na solução de poço de fonte de linha, já que na medida em que $s \rightarrow 0$ ($t_{DFo} \rightarrow \infty$), $\sqrt{s} K_1(\sqrt{s}) \rightarrow 1$, o que resulta em

$$\bar{T}_D(r_D, s) = \frac{1}{s} K_0(r_D \sqrt{s}) \quad (16),$$

A inversão deste resultado para o domínio de espaço real corresponde à solução Exponencial integral (Ei) de um poço de fonte de linha:

$$5 \quad T_D(r_D = 1, t_{DFo}) = \frac{1}{2} \left[-Ei \left(-\frac{1}{4t_{DFo}} \right) \right] \quad (17).$$

A adição de um efeito de película térmico de estado estável à essa solução(ões) de comportamento térmico transiente não dimensional de espaço Laplace (Equações 15 até 17) que não inclui esse efeito pode ser realizada
10 mediante utilização da Equação 18:

$$\bar{T}_{wD}(s) = \bar{T}_D(r_D = 1, s) + \frac{S_T}{s} \quad (18).$$

O equivalente de espaço real desta relação (Equação 18) é dado pela Equação 19, em que o efeito de película térmico de estado estável (S_T) é essencialmente uma diferença
15 adicional de temperatura não dimensional de proximidade de poço:

$$T_{wD}(t_{DFo}) = T_D(r_D = 1, t_{DFo}) + S_T \quad (19).$$

Uma simplificação adicional da solução Exponencial integral de poço de fonte de linha pode ser obtida mediante
20 substituição de uma aproximação logarítmica para a Exponencial integral, conforme representada na Equação 20, que é aplicável para $t_{DFo} > 100$:

$$T_{wD}(t_{DFo}) = \frac{1}{2} [\ln t_{DFo} + \ln 4 - \gamma] + S_T = \frac{1}{2} [\ln t_{DFo} + 0.80907] + S_T \quad (20),$$

em que S_T indica um efeito de película térmico de estado

estável de proximidade de poço e γ é a constante de Euler (0,5772...).

Deverá ser observado que a solução de poço de fonte de linha de espaço real poderia igualmente ter sido derivada de uma forma análoga àquela relatada por Polubarinova-Kochina, em "Theory of Ground Water Movement" [Teoria de Movimento de Água no Solo] traduzido do Russo por J. M. R. DeWeist, Princeton University Press, Princeton, N. J. (1962) 549, para a solução de comportamento de pressão transiente de fluxo de fluido radial em uma jazida permeável e porosa de atuação infinita. A técnica envolve uma modificação da condição de limite interno (Equação 3), dada pela Equação 21:

$$\lim_{r \rightarrow 0} r \frac{\partial T}{\partial r} = \frac{Qr_w}{\kappa} \text{ for } t > 0 \quad (21).$$

Uma outra questão que poderá ser muito importante para o desenvolvimento de uma técnica de avaliação útil e prática para uma análise de desempenho de comportamento térmico transiente consiste na armazenagem térmica do sistema (de desenvolvimento de jazida). Uma relação exemplar entre o fluxo térmico da fácies arenosa e o fluxo na superfície pode ser expressado aproximadamente na Equação 22:

$$\frac{q_{sf}}{q} = 1 - C_{DT} \frac{d}{dt_{DFo}} T_D(t_{DFo}, C_{DT}, \dots) \quad (22),$$

em que q indica o fluxo na superfície e q_{sf} indica o fluxo térmico da fácies arenosa.

A definição do coeficiente de armazenagem térmica de furo de poço não dimensional foi dado na Equação 9 e o(s) efeito(s) deste parâmetro pode(m) ser prontamente incluído(s) na solução de comportamento térmico transiente de espaço de Laplace desenvolvida (que originalmente não inclui o efeito deste parâmetro) utilizando a Equação 23:

$$\bar{T}_{wD}(s) = \frac{\bar{T}_D(r_D=1, s)}{1 + C_{DT}s^2\bar{T}_D(r_D=1, s)} \quad (23).$$

Deverá ser apreciado que as equações matemáticas aqui providas não são exclusivas, e que outras equações matemáticas não conhecidas ou que venham a ser posteriormente desenvolvidas poderão igualmente ser utilizadas pela unidade 52 de determinação de parâmetros térmicos no sub-processo S3-1.

Devido à natureza interativa e/ou confusa das relações entre diversos parâmetros (por exemplo, propriedades térmicas) conforme ilustrado pelas equações aqui apresentadas, a unidade 52 de determinação de propriedades térmicas poderá utilizar uma unidade 53 de equiparação de curva de tipo para obtenção das quantidades de alguns parâmetros. Por exemplo, a unidade 53 de equiparação de curva de tipo pode construir, por exemplo, um conjunto de curva de tipo de comportamento térmico transiente não dimensional de aspecto gráfico incluindo a temperatura de furo de poço não dimensional (T_{wD}) e o produto do tempo Fourier normalizado de armazenagem térmica de furo de poço não dimensional (t_{DFo}/C_{DT}) e a derivada da

temperatura não dimensional do furo de poço com relação ao tempo Fourier não dimensional $[(t_{DFo}/C_{DT}) * dT_{wD}/dT_{wD}/d(t_{DFo}/C_{DT})]$ (normalmente simplesmente referida como função derivativa) como função do tempo Fourier não dimensional dividido pela
5 armazenagem térmica de furo de poço não dimensional (t_{DFo}/C_{DT}) de uma maneira análoga àquela utilizada em conjuntos de curvas de tipo de análise de desempenho de comportamento de pressão transiente. Uma vantagem obtida através da normalização, desta forma, da escala de tempo
10 não dimensional (abscissa) com a armazenagem térmica de furo de poço não dimensional (t_{DFo}/C_{DT}) reside no fato de reduzir todas as soluções de comportamento térmico transiente a uma única linha de armazenagem de furo de poço de curva térmica de unidade log-log para valores de efeito
15 pelicular térmico não negativos para auxílio nos procedimentos de equiparação gráfica.

Um parâmetro de correlação adicional que pode ser utilizado na construção das curvas de tipo consiste no produto da armazenagem térmica de furo de poço não
20 dimensional e do valor exponencial do dobro do efeito pelicular térmico de estado estável $[C_{DT} \exp(2S_T)]$. Para um exemplo ilustrativo, a FIG. 3 ilustra um conjunto de curvas de tipo de comportamento térmico transiente não dimensional construído desta maneira. A FIG. 3 apresenta as curvas de
25 temperatura de furo de poço não dimensional (em linhas sólidas) e as curvas derivadas correspondentes (em linhas pontilhadas). A faixa de magnitude do parâmetro de

correlação $[C_{DT} \exp(2S_T)]$ para o(s) conjunto(s) de curvas de tipo apresentadas na FIG. 3 encontra-se em uma faixa de 0,01 até $1E60$, do fundo para o topo em cada um dos conjuntos de curvas T_{wD} e $[(t_{DFo}/C_{DT}) * dT_{wD}/dT_{wD}/d(t_{DFo}/C_{DT})]$.

5 Com base no(s) conjunto(s) de tipo de curvas construído(s), a unidade 53 de equiparação de curva de tipo pode desenvolver procedimentos de análise de equiparação de curva de tipo que podem ser utilizados para avaliação, por exemplo, de comportamento de DTS transiente ou medições de
10 calibragem de temperatura permanente para extração de estimativas dos parâmetros térmicos da formação. Especificamente, por exemplo, os dados de comportamento térmico transiente recebidos podem ser equiparados com as curvas de tipo estabelecidas para determinação de quantidades
15 de determinados parâmetros. Subseqüentemente, as quantidades determinadas podem ser incorporadas às equações matemáticas para determinação de quantidades de outro(s) parâmetro(s) térmico(s) do sistema 12 de desenvolvimento de jazida. As operações de equiparação de curva de tipo e de cálculo de
20 parâmetros térmicos são aqui descritas adicionalmente mediante utilização de um exemplo ilustrativo.

De acordo com uma configuração, a determinação de parâmetro térmico no sub-processo S3-1 pode ser operada em um conjunto de condições de produção de taxas de fluxo variáveis
25 do sistema 12 de desenvolvimento de jazida para determinação do(s) respectivo(s) parâmetro(s) térmico(s).

Fazendo novamente referência à FIG. 2, no sub-

processo S3-2, a unidade 46 de análise de comportamento térmico transiente analisa o desempenho térmico transiente do sistema 12 de desenvolvimento de jazida com base no(s) parâmetro(s) térmico(s) determinado(s). Qualquer análise 5 poderá ser realizada. Por exemplo, a unidade 46 de análise de comportamento térmico transiente poderá analisar uma variação espacial de um parâmetro térmico em pelo menos uma de uma dimensão vertical ou uma dimensão lateral. A unidade 46 de análise de comportamento térmico transiente poderá igualmente 10 analisar uma alteração no parâmetro térmico com relação a tempo. Os parâmetros térmicos de interesse podem incluir condutividade térmica, difusividade térmica, e armazenagem térmica do sistema 12 de desenvolvimento de jazida. Adicionalmente, a unidade 46 de análise de comportamento 15 térmico transiente poderá analisar uma relação quantitativa entre a diferença de temperatura de efeito pelicular térmico e uma difusividade térmica. Uma análise de fluxo radial térmico de atuação infinita (por exemplo, uma análise Semilog) pode igualmente ser desenvolvida com base na solução 20 de poço de fonte de linha provida nas Equações 17 ou 20.

Adicionalmente à quantificação de um parâmetro térmico, as soluções de curva de tipo de comportamento térmico transiente de diferencial ("drawdown") de taxa (fluxo) constante apresentadas na FIG. 3 podem igualmente ser 25 utilizadas para avaliação do comportamento térmico transiente de respostas de comportamento térmico transiente de taxa variável utilizando o princípio de sobreposição-no-tempo.

Isto inclui igualmente a avaliação de comportamento térmico transiente de poço fechado. A integral de convolução que é aplicada para determinação do efeito de um histórico de taxa (fluxo) de fluxo variável sobre o comportamento térmico transiente do furo de poço 14 é correlacionada com o comportamento térmico transiente de fluxo variável da(s) resposta(s) correspondente(s) que seria(m) obtida(s) para uma solução de fluxo constante. A integral de convolução pode ser dada mediante utilização da Equação 24:

$$10 \quad T_{wD}(t_D) = \int_0^{t_D} q_D(\tau) \frac{dT_D(t_D - \tau)}{d\tau} d\tau \quad (24),$$

em que $T_{wD}(t_D)$ indica a temperatura não dimensional de furo de poço de um poço com um histórico de taxa (fluxo) de fluxo variável, q_D indica taxa (fluxo) de fluxo não dimensional, e $dT_D/d\tau$ indica a derivada da solução de comportamento térmico transiente de fluxo constante com relação a tempo não dimensional.

Em termos de incremento de tempos distintos, a integral de convolução térmica pode ser avaliada na forma dada aproximadamente pela Equação 25:

$$20 \quad T_{wD}(t_{Dn}) = \sum_{\substack{i=1 \\ n>1}}^{n-1} q_{Di} [T_D(t_{Dn} - t_{Di-1}) - T_D(t_{Dn} - t_{Di})] + T_D(t_{Dn} - t_{Dn-1}) \quad (25),$$

em que T_{Dn} indica a temperatura de furo de poço não dimensional no n° nível de tempo para um histórico de taxa de fluxo variável com aproximação realizada mediante utilização de n intervalos de tempo distintos.

25 Deverá ser observado que para a avaliação de

comportamentos térmicos transientes em poço fechados em que a taxa (fluxo) de fluxo superficial durante o transiente de fechamento é igual a zero, o fluxo ou taxa de fluxo de referência utilizado na análise é o fluxo ou taxa de fluxo do comportamento de fluxo transiente imediatamente anterior ao transiente de fechamento de poço de interesse.

Adicionalmente, a unidade 54 de diagnóstico pode igualmente realizar uma análise diagnóstica na forma de um gráfico quantitativo. As análises diagnósticas quantitativas especializadas podem ser utilizadas para caracterização do comportamento de transiente de temperatura do sistema 12 de desenvolvimento de jazida mediante utilização de análises gráficas derivadas da solução transiente de temperatura do furo de poço. A análise de diagnóstico pode ser baseada nos parâmetros térmicos determinados como derivados de DTS ou dados de calibragem de temperatura de tipo permanente.

Fazendo novamente referência à FIG. 2, no processo S4, a unidade de correlação 48 correlacionada um resultado (por exemplo, um determinado parâmetro térmico) da análise de desempenho de comportamento térmico transiente do processo S3 (e/ou de outros dados disponíveis 60) com um resultado (por exemplo, um parâmetro hidráulico) da análise de desempenho de comportamento de pressão transiente do processo S2 (e/ou de outros dados disponíveis 60) para geração de um modelo de transformação. O modelo de transformação representa a correlação e possível

transformabilidade entre os dois tipos de análises. A correlação pode ser realizada de uma forma empírica mediante utilização de um conjunto de múltiplas entradas de dados, com cada entrada de dados representando um resultado de análise de desempenho de comportamento térmico transiente, por exemplo, uma difusividade térmica, e um correspondente resultado de análise de desempenho de comportamento de pressão transiente, por exemplo, uma difusividade hidráulica. O conjunto de entradas de dados, ou uma amostra retirada do conjunto, poderá ser submetido(a) a análises estatísticas para obtenção da correlação, caso exista alguma, e para geração do modelo de transformação. As entradas de dados no conjunto podem ser obtidas das análises de diferentes sistemas de desenvolvimento de jazida ou podem ser obtidas de múltiplas análises do mesmo sistema de desenvolvimento de jazida, ou de qualquer combinação dos mesmos. O correspondente resultado de análise de desempenho de comportamento de pressão transiente e resultado de análise de desempenho de comportamento térmico transiente (isto é, uma entrada de dados no conjunto de dados) podem igualmente incluir efeitos peliculares de estados estáveis hidráulicos e térmicos, nível de pressão de poros e as temperaturas de furo de poço medidas diretamente (assinatura térmica), ou fluxos de ingresso relativos para o interior do furo de poço 14 e as assinaturas térmicas de furos de poço associados (ou alterações em temperaturas de furo de poço)

que correspondem a pontos de ingresso de fluido da formação para o interior do furo de poço.

No processo S5, a unidade de transformação 50 transforma um parâmetro térmico determinado em uma análise de desempenho de comportamento térmico transiente em um parâmetro hidráulico com base no modelo de transformação estabelecido. Por exemplo, uma difusividade térmica do sistema 12 de desenvolvimento de jazida pode ser transformada em uma difusividade hidráulica do mesmo. O parâmetro térmico pode ser obtido do processo S3 ou pode ser obtido de outros dados disponíveis 60. Nesta medida, após o modelo de transformação ser estabelecido e/ou calibrado, o centro de processamento 30 poderá processar resultados disponíveis de análises de desempenho de comportamento térmico transiente para transformar os mesmos em resultados de análises de desempenho de comportamento de pressão transiente, por exemplo, propriedades hidráulicas da formação do respectivo sistema de desenvolvimento de jazida.

20 3. Exemplo de Operação

A operação do sistema 32 de análise de desempenho de jazida é adicionalmente ilustrada mediante utilização das operações ilustrativas relatadas a seguir de um caso exemplar de teste de desempenho dinâmico de jazida. 25 Suponha-se que um poço de petróleo tenha sido colocado em produção a 30.000 STB/D (barris padrão/dia) durante 300 dias e subseqüentemente tenha sido fechado durante duas

semanas. A espessura (h) de interesse líquida da formação é igual a 490 pés (149,352 metros), com uma porosidade efetiva média de 20%, uma saturação de água conata de 10%, e uma saturação de petróleo inicial de 90%. Um raio geométrico de furo de poço para utilização na análise é de 5 0,5 pés (0,1524 metro) e a temperatura de jazida média estática nesta análise é igual a 158° F (70° C). As respostas de temperatura e pressão de furo de poço fechado (conforme podem ser recebidas no processo S1 da FIG. 2) 10 encontram-se apresentadas na FIG. 4. A capacidade de calor (C_p) do sistema de desenvolvimento de jazida é aproximadamente igual a 0,5 BTU/lb_m-° F e a densidade volumétrica (ρ) do sistema é igual a 155 lb_m/ft³.

Os gráficos de diagnóstico de comportamentos de 15 pressão e térmico transientes (processos S2 e S3-2) para estes dados transientes de poço fechado (com uma correção de pressão para elevação de dados) são apresentados nas FIGS. 5 e 6, respectivamente. Deverá ser observado que na análise de diagnóstico de comportamento de pressão 20 transiente (FIG. 5), parecem ocorrer três regimes distintos de fluxo apresentados na resposta de transiente de poço fechado. O primeiro ponto de dados e sua correspondente derivada parecem situar-se sobre aquilo que seria a característica de comportamento linear de curva unitária 25 log-log característica de distorção de armazenagem de furo de poço. Após aproximadamente 20 horas de fechamento, uma assinatura de fluxo linear bem desenvolvida parece ser

apresentada no comportamento de pressão transiente do poço. O fluxo linear é caracterizado por uma meia-curva log-log em ambas as respostas de pressão e derivada. O fluxo linear constitui também geralmente uma boa indicação de um efeito pelicular total de estado estável negativo, indicando
5 geralmente um aperfeiçoamento de eficiência de fluxo de completação de poço. Uma conclusão de que este fluxo linear é devido a um efeito pelicular total negativo (incluindo um aperfeiçoamento de eficiência de completação de poço) e não
10 a uma assinatura de fluxo linear que corresponderia a outras configurações de jazida (um exemplo das quais seria um fluxo de canal) pode ser deduzida do fato de que o final do transiente do poço fechado aparenta realizar uma transição para o regime de fluxo pseudo-radial de atuação
15 infinita.

A análise de diagnóstico de comportamento térmico transiente (FIG. 6) indica que existem dois regimes de fluxo de comportamentos térmicos transientes distintos apresentados na resposta de poço fechado. O primeiro regime
20 de fluxo que é claramente apresentado no comportamento térmico transiente do poço consiste na armazenagem térmica de furo de poço, indicada pelo comportamento térmico transiente de curva unitária log-log durante aproximadamente as primeiras 2 horas de tempo equivalente
25 radial. Isto é seguido por um regime de fluxo térmico de transição que se estende até o início do comportamento de fluxo radial de atuação infinita, com início a cerca de 25

horas de tempo equivalente radial até o final da resposta de comportamento térmico transiente de poço fechado (duas semanas).

Uma equiparação de curva tipo de comportamento de
 5 pressão transiente (processo S2) da resposta transiente de poço fechado é apresentada na FIG. 7. Foi determinado a partir do procedimento de equiparação de curva de tipo que a condutividade hidráulica da formação (kh) era igual a 32.210 mD-ft ($k = 65,5$ mD) com um efeito pelicular de estado estável de fluxo radial aparente total (S) igual a -
 10 7,4. O efeito pelicular aparente total inclui os componentes peliculares de danos/estimulação de poço, inclinação de furo de poço/formação, efeitos de completação parcial, e diversos outros componentes de efeito pelicular.
 15 A pressão média de jazida (\bar{p}_r) computada na análise foi determinada como sendo levemente superior a 4800 psi (337,473 kgf/cm²).

A análise de equiparação de curva de tipo da resposta de comportamento térmico transiente (processo S3-
 20 1) é apresentada na FIG. 8 com utilização dos conjuntos de curvas de tipo estabelecidos (exemplos) apresentados na FIG. 3. Os pontos de equiparação obtidos na análise de equiparação de curva de tipo de comportamento térmico transiente são os seguintes:

25 $[t(/t_{DFo}/C_{DT})]_{M.P.} = 2,556$ horas

$$[\Delta T/T_{wD}]_{M.P.} = 2,264 \text{ } ^\circ\text{F} (16,686 \text{ } ^\circ\text{C})$$

$$C_{DT} \exp(2S_T) = 0,944$$

Destes pontos de equiparação, a razão de armazenagem térmica (C_T) para condutividade térmica (k) é determinada aproximadamente mediante incorporação das quantidades de ponto de equiparação nas Equações 5 e 9 conforme reorganizadas abaixo:

$$\frac{C_T}{K} = 2\pi h \left[\frac{t}{\left(\frac{t_{DFo}}{C_{DT}} \right)} \right]_{MP} \quad (26),$$

em que a notação subscrita MP indica um ponto de equiparação, e $\frac{C_T}{K} = 2\pi(490)(2.264) = 6970 \text{ ft-hr}$.

O fluxo normalizado de condutividade térmica pode ser determinado mediante reorganização da Equação 7 na forma dada pela Equação 27:

$$\frac{Q}{K} = \left[\frac{\Delta T}{T_{wD}} \right]_{MP} / r_w \quad (27),$$

e $\frac{Q}{K} = 2.264/0.5 = 4.528 \text{ °F/ft}$.

A relação entre a diferença de temperatura de feito pelicular térmico e a difusividade térmica (Equação 28) é derivada dos pontos de equiparação mediante utilização das Equações 5 e 7 até 9:

$$\Delta T_s = \frac{1}{2} \left[\frac{\Delta T}{T_{wD}} \right]_{MP} \ln \left[\frac{[C_{DT} \exp(2S_T)]_{MP} r_w^2}{\alpha \left[\frac{t}{\left[\frac{t_{DFo}}{C_{DT}} \right]_{MP}} \right]} \right] \quad (28),$$

$$\text{e } \Delta T_s = \frac{1}{2} (2.264) \ln \left[\frac{0.944(0.5)^2}{2.556\alpha} \right] = 1.132 \ln \left(\frac{0.09233}{\alpha} \right) \text{ } ^\circ\text{F}.$$

A análise de fluxo radial térmico de atuação infinita (no sub-processo S3-2) pode ser ilustrada graficamente pela FIG. 9.

O processo S4 pode ser então realizado quando se encontram disponíveis dados empíricos suficientes das análises de desempenho de comportamento térmico transiente e de desempenho de comportamento de pressão transiente.

4. Conclusão

Muito embora sendo aqui ilustrada e descrita como constituindo um método e um sistema para análise de um desempenho de comportamento térmico transiente de um sistema de desenvolvimento de jazida, deverá ser entendido que a presente invenção proporciona adicionalmente diversas configurações adicionais. Por exemplo, em uma configuração, a invenção proporciona um produto de programa armazenado em uma mídia passível de leitura em computador, que quando é executado, permite que uma infra-estrutura de computador analise um desempenho de comportamento térmico transiente de um sistema de desenvolvimento de jazida. Para esta finalidade, a mídia passível de leitura em computador

inclui código de programa, tal como um sistema 32 de análise de desempenho de jazida (FIG. 1), que implementa o processo aqui descrito. Deverá ser entendido que a expressão "mídia passível de leitura em computador" compreende um ou mais de qualquer tipo de configuração física do código de programa. Em particular, a mídia passível de leitura em computador pode compreender código de programa configurado em um ou mais artigos de manufatura de armazenamento portáteis (por exemplo, um disco compacto, um disco magnético, uma fita, etc.), em uma ou mais partes de armazenamento de dados de um dispositivo de computação, tal como uma memória e/ou outro sistema de armazenamento, e/ou na forma de um sinal de dados realizando um percurso através de uma rede (por exemplo, durante uma distribuição eletrônica com fios/sem fios do produto de programa).

Adicionalmente, pode ser incluído um método de provisão de um sistema para análise de um desempenho de comportamento térmico transiente de um sistema de desenvolvimento de jazida. Neste caso, uma infra-estrutura de computador, tal como o centro de processo 30 (FIG. 1) pode ser obtida (por exemplo, criada, mantida, suportada, ter sido tornada disponível para, etc.) e um ou mais sistemas, tal como o sistema 32 de análise de desempenho de jazida (FIG. 1), para realização do processo aqui descrito podem ser obtidos (por exemplo, criados, adquiridos, utilizados, modificados, etc.) e colocados em operação na infra-estrutura de computador. Nesta medida, a colocação em

operação de cada sistema pode compreender uma ou mais das seguintes operações: (1) instalação de código de programa em um dispositivo de computação, tal como um centro de processamento 30 (FIG. 1), a partir de uma mídia passível
5 de leitura em computador; (2) adição de um ou mais dispositivos de computação à infra-estrutura de computador; e (3) incorporação e/ou modificação de um ou mais sistemas existentes da infra-estrutura de computador para permitir que a infra-estrutura de computador realize os processos de
10 acordo com a presente invenção.

Conforme são aqui utilizadas, deverá ser entendido que as expressões "código de programa" e "código de programa de computador" são sinônimas e significam qualquer expressão, em qualquer linguagem, código ou anotação, de um
15 conjunto de instruções que fazem com que um dispositivo de computação provido com capacidade de processamento de informações realize uma função específica seja diretamente ou após qualquer combinação das seguintes operações: (a) conversão para uma outra linguagem, código, ou anotação;
20 (b) reprodução em uma forma material diferente; e/ou (c) descompactação. Nesta medida, o código de programa pode ser configurado na forma de um ou mais tipos de produtos de programa, tais como um programa de software/aplicativo, uma biblioteca de funções/software componente, um sistema
25 operacional, um "driver"/sistema de I/O (entrada/saída) para um dispositivo específico de computação e/ou um dispositivo específico de I/O, e similares. Adicionalmente,

deverá ser entendido que os termos "componente" e "sistema" são sinônimos conforme aqui utilizados e representam qualquer combinação de hardware e/ou software capaz de realizar determinada função ou funções.

5 Os diagramas de fluxo e diagramas de blocos nas figuras ilustram a arquitetura, funcionalidade, e operação de possíveis implementações de sistemas, métodos e produtos de programa de computador de acordo com diversas configurações da presente invenção. A este respeito, cada

10 bloco no diagrama de fluxo ou diagrama de blocos podem representar um módulo, um segmento, ou uma porção de código, que compreende uma ou mais instruções executáveis para implementação da função ou funções lógicas especificadas. Deverá ser igualmente observado que em

15 algumas implementações alternativas, as funções assinaladas nos blocos podem ocorrer fora da ordem assinalada nas figuras. Por exemplo, dois blocos ilustrados em sucessão podem, na realidade ser executados de forma substancialmente concomitante, ou os blocos podem por vezes

20 ser executados na ordem inversa, dependendo da funcionalidade envolvida. Deverá ser igualmente observado que cada bloco dos diagramas de bloco e/ou ilustrações de diagramas de fluxo, e combinações de bloco nos diagramas de blocos e/ou ilustrações de diagramas de fluxo, pode ser

25 implementado por sistemas baseados em hardware para propósitos especiais que realizam os atos ou funções especificados, ou combinações de hardware de propósitos

especiais e instruções de computador.

A terminologia aqui utilizada tem meramente como propósito descrever configurações específicas e não pretende limitar a invenção. Conforme são aqui utilizadas, 5 as formas singulares "um", "uma", e "o" ou "a" são destinadas a incluir também suas formas plurais salvo indicação clara em contrário no contexto. Deverá ser adicionalmente entendido que os termos "compreende" e/ou "compreendendo", quando utilizados no presente relatório 10 descritivo, especificam a presença de características enunciadas, números inteiros, etapas, operações, elementos, e/ou componentes, porém não impedem a presença ou adição de uma ou mais outras características, números inteiros, etapas, operações, elementos, componentes, e/ou grupos dos 15 mesmos.

Muito embora a divulgação tenha sido particularmente ilustrada e descrita com referência a configurações ilustrativas da mesma, deverá ser entendido por aqueles que são normalmente versados na técnica que 20 podem ser feitas na mesma diversas alterações de forma e detalhes sem afastamento do espírito e escopo da presente invenção conforme definidos pelas reivindicações. Adicionalmente, aqueles que são normalmente versados na técnica poderão apreciar que qualquer arranjo calculado 25 para alcançar o mesmo propósito poderá substituir as configurações específicas aqui ilustradas e que a invenção é passível de outras aplicações em outros ambientes.

- REIVINDICAÇÕES -

1. MÉTODO PARA ANÁLISE DE DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE DESENVOLVIMENTO DE JAZIDA, o método sendo caracterizado por compreender:

5 recepção de dados de comportamento térmico transiente do sistema de desenvolvimento de jazida;

determinação de um parâmetro térmico do sistema de desenvolvimento de jazida com base nos dados de comportamento térmico transiente; e

10 análise de um desempenho de comportamento térmico transiente do sistema de desenvolvimento de jazida com base no parâmetro térmico.

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por a análise incluir a realização de uma análise diagnóstica gráfica quantitativa do sistema de desenvolvimento de jazida.

3. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por a análise incluir a análise de uma variação do parâmetro térmico em pelo menos uma de uma dimensão vertical, uma dimensão lateral, ou uma dimensão temporal.

4. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por a determinação incluir a realização de uma análise de equiparação de curva de tipo com base nos dados de comportamento térmico transiente.

5. Método, de acordo com a reivindicação 4,

caracterizado por a equiparação de curva de tipo incluir a construção de um conjunto de curvas de tipo de comportamento térmico transiente não dimensional de tipo gráfico incluindo pelo menos um de: uma temperatura de furo de poço não dimensional (T_{WD}) ou um produto de um tempo Fourier normalizado de armazenagem térmica de furo de poço não dimensional e uma derivada da temperatura de furo de poço não dimensional com relação ao tempo Fourier não dimensional $[(t_{DFo}/C_{DT}) * dT_{WD}/d(t_{DFo}/C_{DT})]$ como função do tempo Fourier não dimensional dividido por uma armazenagem térmica de furo de poço não dimensional (t_{DFo}/C_{DT}).

6. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por compreender adicionalmente:

recepção de um resultado de uma análise de desempenho de comportamento de pressão transiente do sistema de desenvolvimento de jazida; e

correlação do resultado da análise de desempenho de comportamento de pressão transiente com um resultado da análise de desempenho de comportamento térmico transiente para geração de um modelo de transformação.

7. Método, de acordo com a reivindicação 6, caracterizado por compreender adicionalmente a transformação de um parâmetro térmico do sistema de desenvolvimento de jazida em um parâmetro hidráulico do mesmo com base no modelo de transformação.

8. Método, de acordo com a reivindicação 6, caracterizado por o parâmetro hidráulico incluir pelo menos

um de: uma difusividade hidráulica, um efeito pelicular de estado estável hidráulico, um nível de pressão de poro, ou um fluxo de ingresso relativo para o interior de um furo de poço do sistema de desenvolvimento de jazida.

5 9. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por a determinação do parâmetro térmico incluir a determinação do parâmetro térmico para um conjunto de condições de produção de taxa de fluxo de tipo variável.

10 10. SISTEMA PARA ANÁLISE DE DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE DESENVOLVIMENTO DE JAZIDA, o sistema sendo caracterizado por compreender:

 meios para recepção de dados de comportamento térmico transiente para o sistema de desenvolvimento de jazida;

15

 meios para determinação de um parâmetro térmico do sistema de desenvolvimento de jazida com base nos dados de comportamento térmico transiente; e

20 meios para análise de um desempenho de comportamento térmico transiente do sistema de desenvolvimento de jazida com base no parâmetro térmico.

25 11. Sistema, de acordo com a reivindicação 10, caracterizado por o meio de análise incluir um meio para realização de uma análise diagnóstica gráfica quantitativa do sistema de desenvolvimento de jazida.

12. Sistema, de acordo com a reivindicação 10, caracterizado por um meio de análise analisar uma variação do parâmetro térmico em pelo menos uma de uma dimensão vertical, uma dimensão lateral, ou uma dimensão temporal.

5 13. Sistema, de acordo com a reivindicação 10, caracterizado por o meio de determinação incluir um meio para realização de uma análise de equiparação de curva de tipo com base nos dados de comportamento térmico transiente.

10 14. Sistema, de acordo com a reivindicação 10, caracterizado por compreender adicionalmente:

meios para correlação de um resultado de uma análise de desempenho de comportamento de pressão transiente provida com um resultado da análise de desempenho de comportamento térmico transiente para geração de um modelo de transformação; e

15

meios para transformação de um parâmetro térmico do sistema de desenvolvimento de jazida em um parâmetro hidráulico do mesmo com base no modelo de transformação.

20 15. Sistema, de acordo com a reivindicação 14, caracterizado por o parâmetro hidráulico incluir pelo menos um de: uma difusividade hidráulica, um efeito pelicular de estado estável hidráulico, um nível de pressão de poro, ou um fluxo de ingresso relativo para o interior de um furo de poço do sistema de desenvolvimento de jazida.

25

16. PRODUTO DE PROGRAMA DE COMPUTADOR PARA ANÁLISE DE DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE DESENVOLVIMENTO DE

JAZIDA, caracterizado por compreender:

um código de programa passível de utilização em computador armazenado em uma mídia passível de leitura em computador que, quando executado por um sistema de computador, permite que o sistema de computador:

receba dados de comportamento térmico transiente do sistema de desenvolvimento de jazida;

determine um parâmetro térmico do sistema de desenvolvimento de jazida com base nos dados de comportamento térmico transiente; e

analise um desempenho de comportamento térmico transiente do sistema de desenvolvimento de jazida com base no parâmetro térmico.

17. Produto de programa, de acordo com a reivindicação 16, caracterizado por o código de programa ser adicionalmente configurado para realizar uma análise diagnóstica gráfica quantitativa do sistema de desenvolvimento de jazida.

18. Produto de programa, de acordo com a reivindicação 16, caracterizado por o código de programa ser adicionalmente configurado para permitir que o sistema de computador analise uma variação do parâmetro térmico em pelo menos uma de uma dimensão vertical, uma dimensão lateral, ou uma dimensão temporal.

19. Produto de programa, de acordo com a

reivindicação 16, caracterizado por o código de programa ser configurado para permitir que o sistema de computador realize uma análise de equiparação de curva de tipo com base nos dados de comportamento térmico transiente.

5 20. Produto de programa, de acordo com a reivindicação 16, caracterizado por o código de programa ser adicionalmente configurado para permitir que o sistema de computador:

 receba um resultado de uma análise de desempenho de
10 comportamento de pressão transiente do sistema de desenvolvimento de jazida;

 correlacione o resultado da análise de desempenho de comportamento de pressão transiente com um resultado da análise de desempenho de comportamento térmico transiente
15 para geração de um modelo de transformação; e

 transforme um parâmetro térmico do sistema de desenvolvimento de jazida em um parâmetro hidráulico do mesmo com base no modelo de transformação.

 21. Produto de programa, de acordo com a
20 reivindicação 20, caracterizado por o parâmetro hidráulico incluir pelo menos um de: uma difusividade hidráulica, um efeito pelicular de estado estável hidráulico, um nível de pressão de poro, ou um fluxo de ingresso relativo para o interior de um furo de poço do sistema de desenvolvimento
25 de jazida.

 22. MÉTODO DE PROVISÃO DE UM SISTEMA PARA ANÁLISE DE DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE DESENVOLVIMENTO DE

JAZIDA, o método sendo caracterizado por compreender:

5 pelo menos uma operação de criação, manutenção, colocação em operação e provisão de suporte para uma infra-estrutura de computador operável para:

receber dados de comportamento térmico transiente para o sistema de desenvolvimento de jazida;

10 determinar um parâmetro térmico do sistema de desenvolvimento de jazida com base nos dados de comportamento térmico transiente; e

analisar um desempenho de comportamento térmico transiente do sistema de desenvolvimento de jazida com base no parâmetro térmico.

15 23. Método, de acordo com a reivindicação 22, caracterizado por a infra-estrutura de computador ser adicionalmente operável para realizar uma análise diagnóstica gráfica quantitativa do sistema de desenvolvimento de jazida.

20 24. Método, de acordo com a reivindicação 22, caracterizado por a infra-estrutura de computador ser adicionalmente operável para realização de uma análise de equiparação de curva de tipo com base nos dados de comportamento térmico transiente.

25 25. MÉTODO PARA REALIZAÇÃO DE UMA ANÁLISE DE EQUIPARAÇÃO DE CURVA DE TIPO DE UMA RESPOSTA DE COMPORTAMENTO TÉRMICO TRANSIENTE DE UM SISTEMA DE

DESENVOLVIMENTO DE JAZIDA, o método sendo caracterizado por compreender:

5 construção de um conjunto de curvas de tipo de comportamento térmico transiente não dimensional de tipo gráfico, o conjunto de curvas de tipo incluindo pelo menos um de: uma temperatura de furo de poço não dimensional (T_{WD}) ou um produto de um tempo Fourier normalizado de armazenagem térmica de furo de poço não dimensional e uma derivada da temperatura de furo de poço não dimensional com
 10 relação ao tempo Fourier não dimensional $[(t_{DFo}/C_{DT}) * dT_{WD}/d(t_{DFo}/C_{DT})]$ como função do tempo Fourier não dimensional dividido por uma armazenagem térmica de furo de poço não dimensional (t_{DFo}/C_{DT}); e

15 produção como saída do conjunto de curvas de tipo para realização da análise de equiparação de curva de tipo.

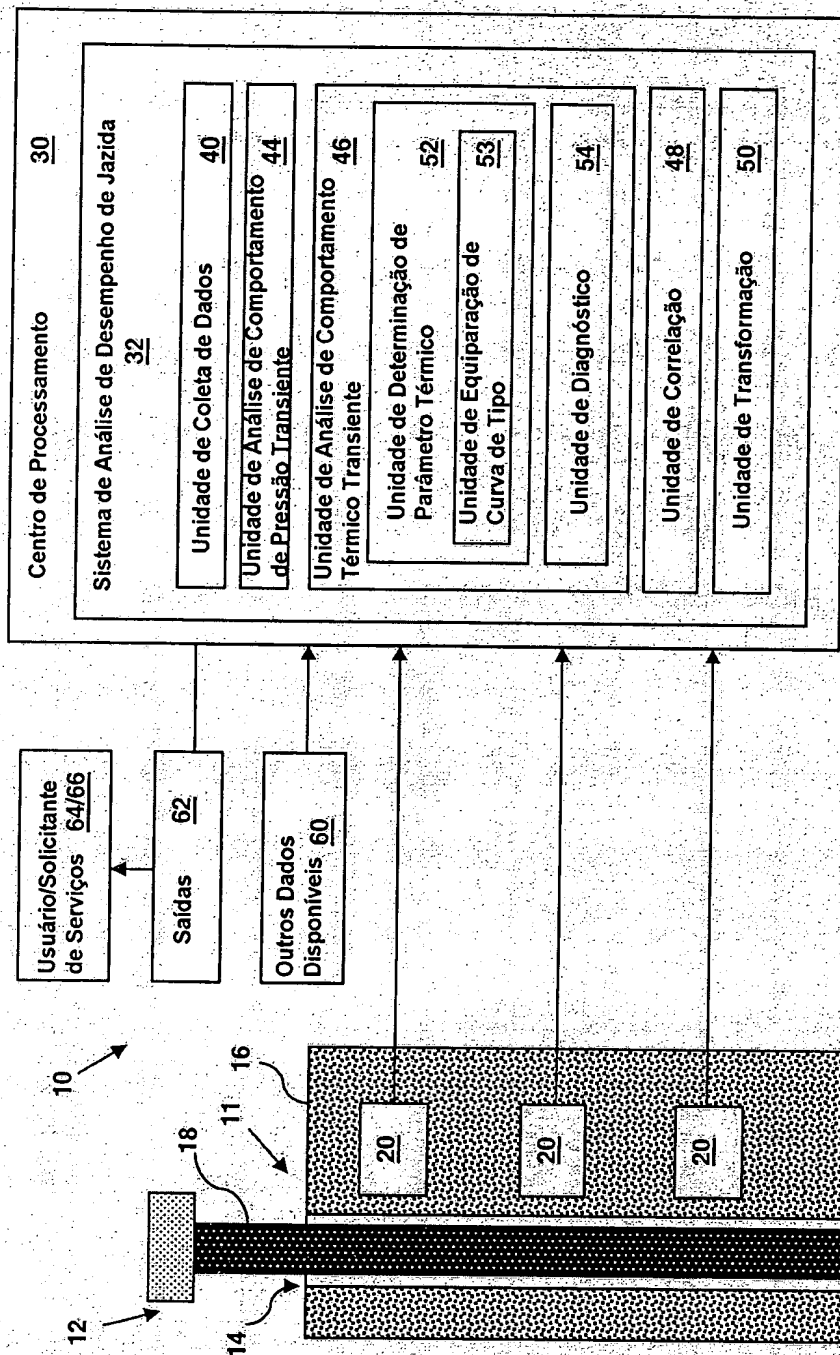


FIG. 1

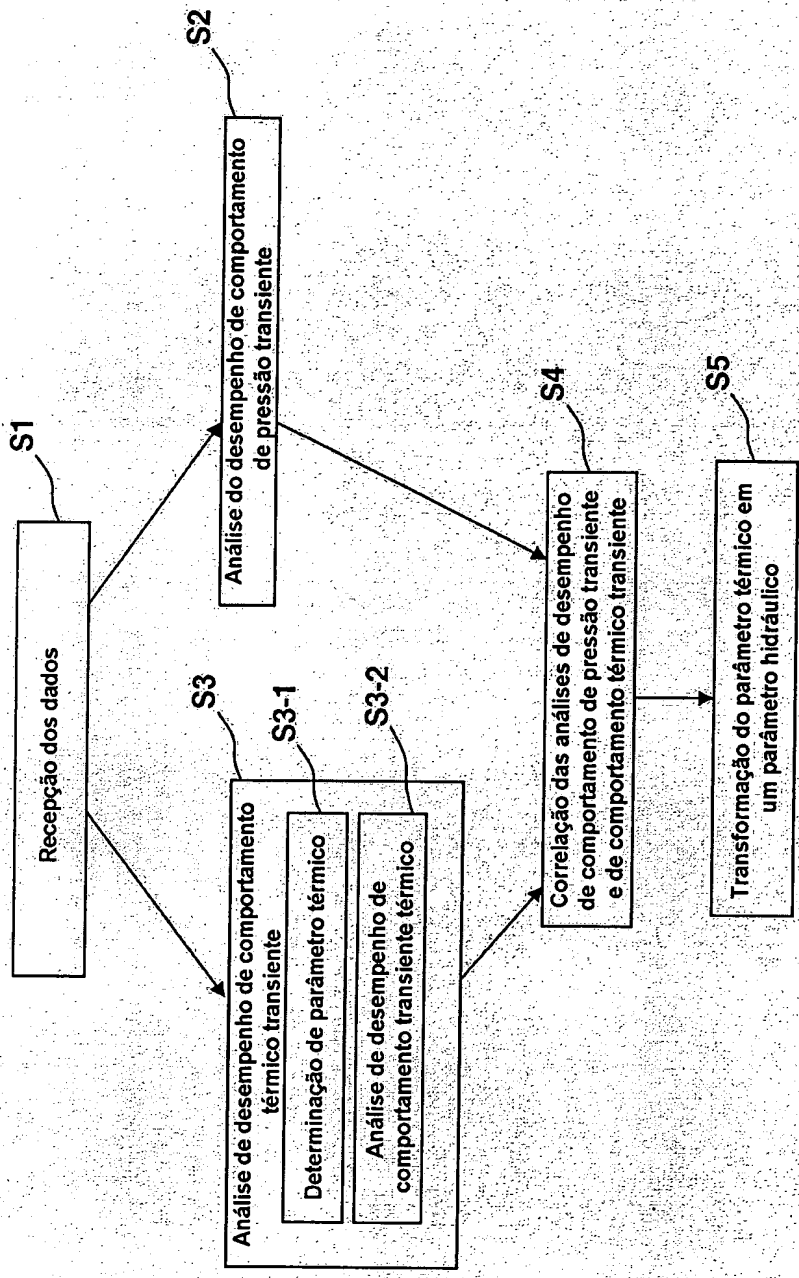


FIG. 2

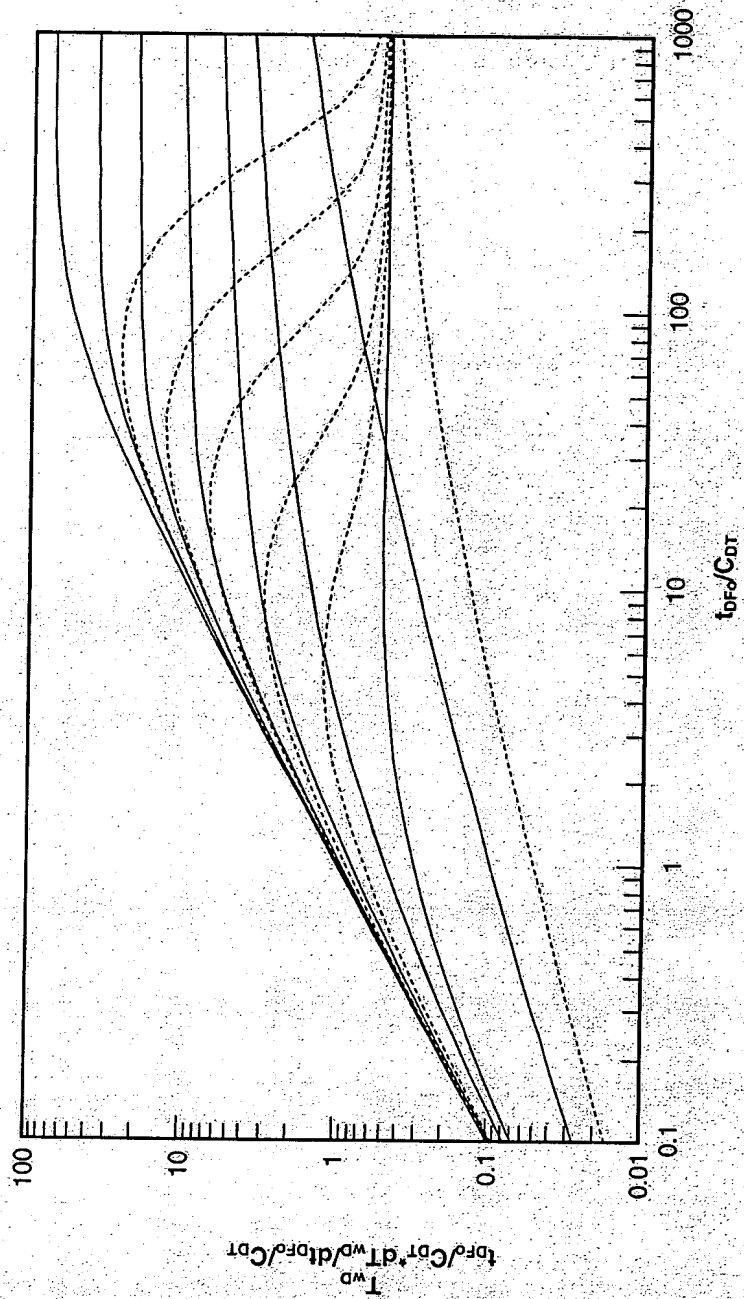


FIG. 3

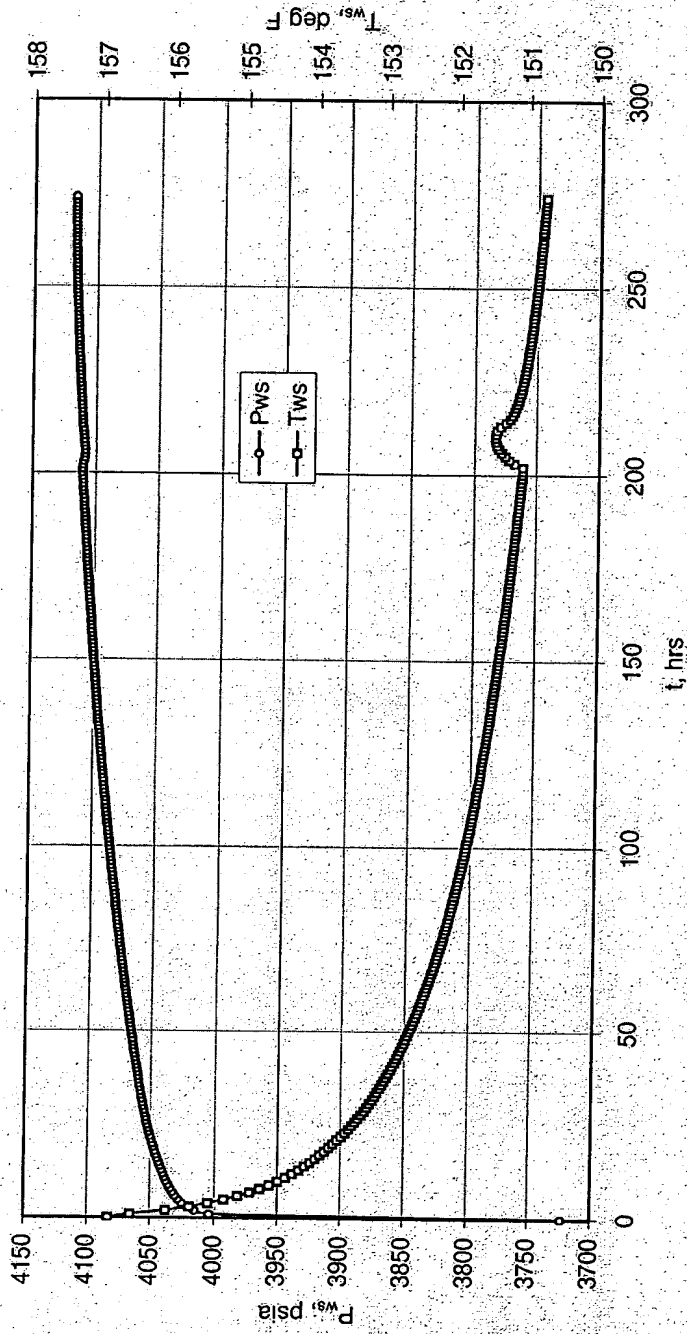


FIG. 4

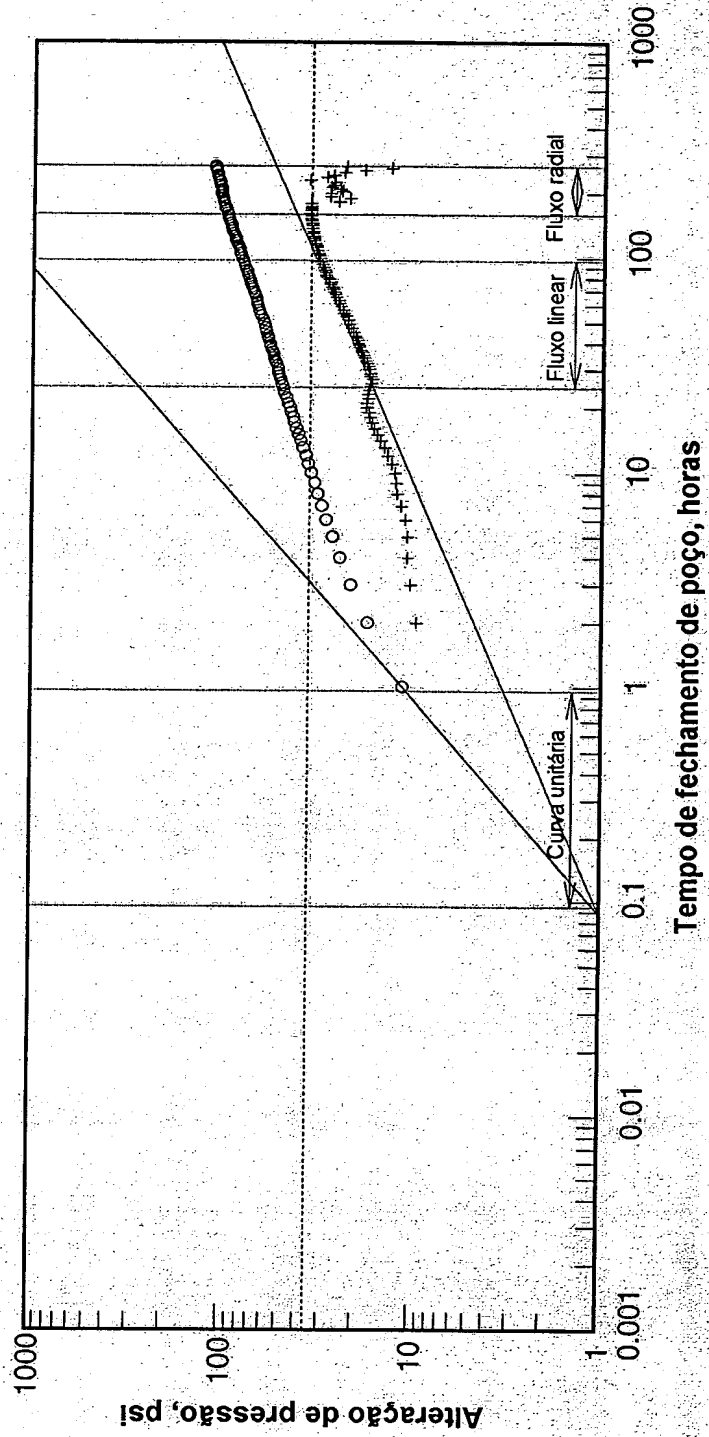


FIG.5

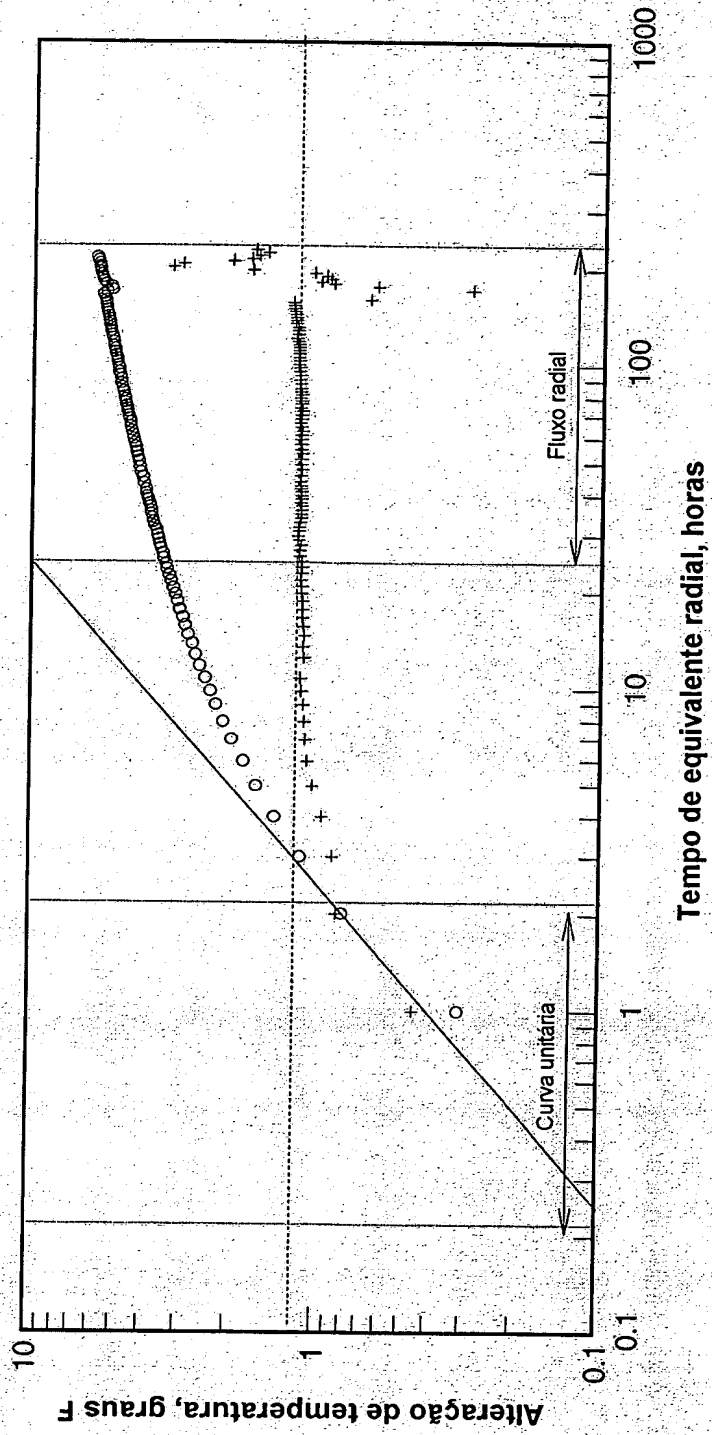


FIG. 6

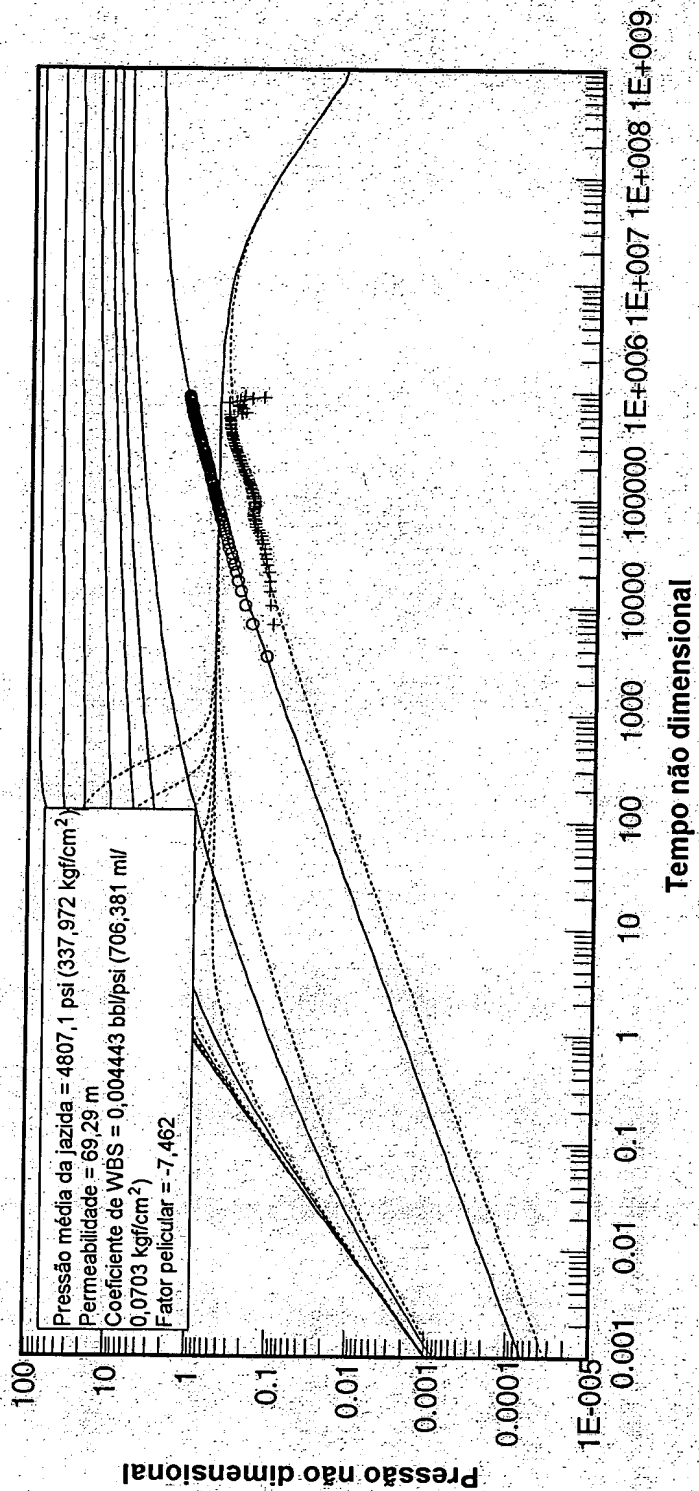


FIG. 7

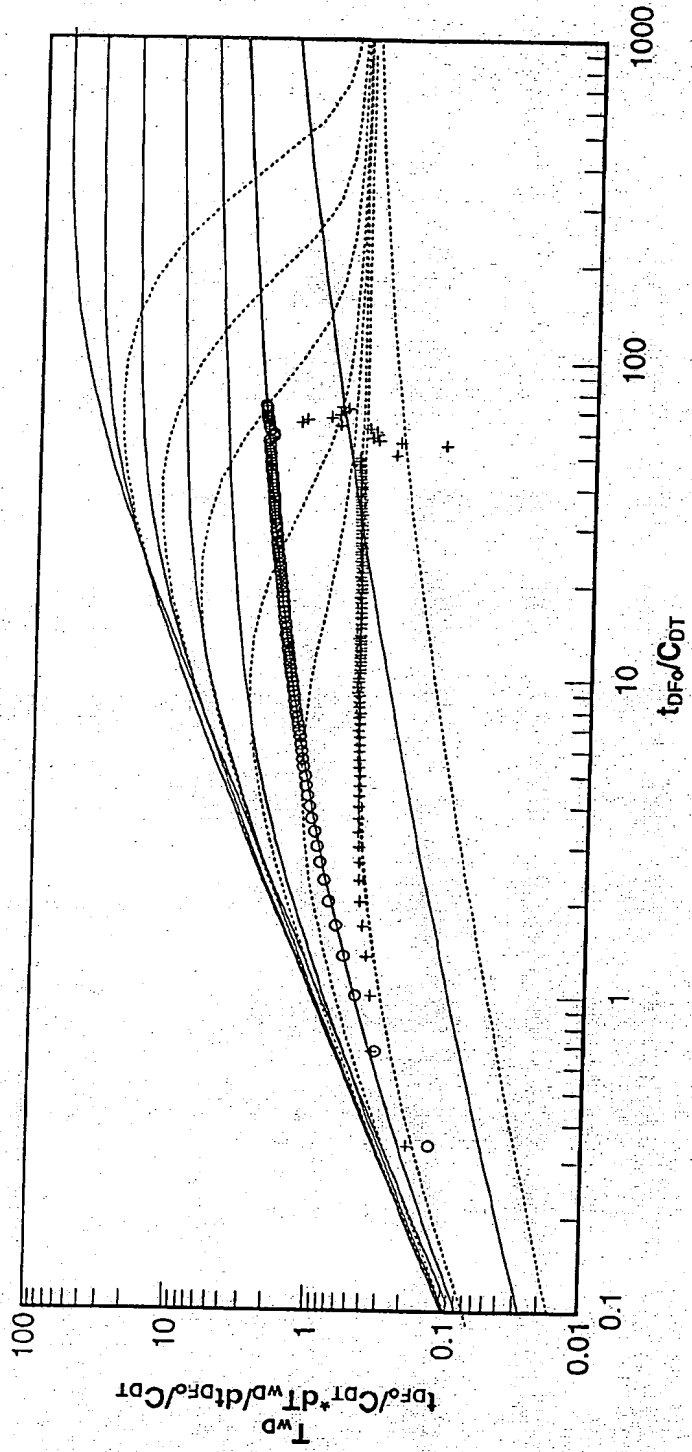


FIG. 8

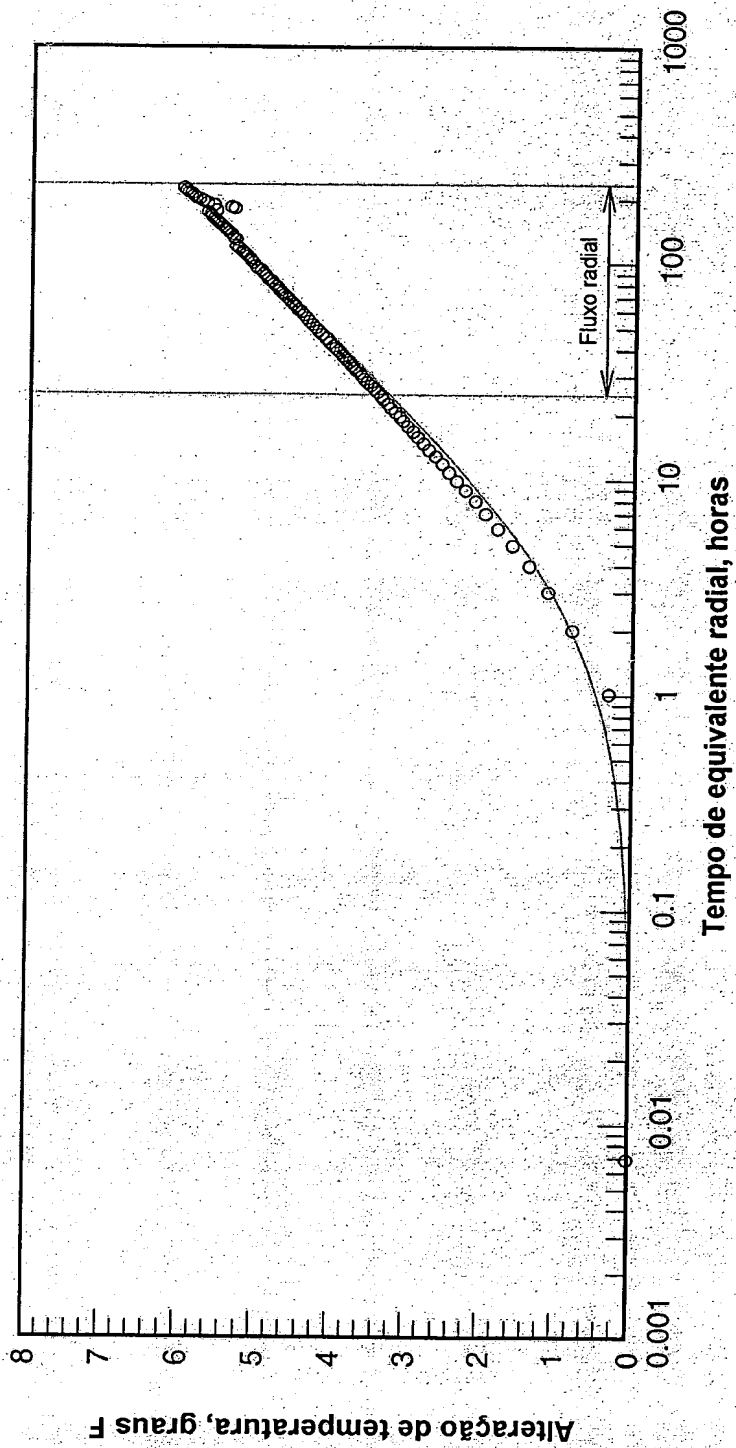


FIG. 9

- RESUMO -

MÉTODO PARA ANÁLISE DE DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE
DESENVOLVIMENTO DE JAZIDA, SISTEMA PARA ANÁLISE DE
DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE DESENVOLVIMENTO DE JAZIDA,
5 PRODUTO DE PROGRAMA DE COMPUTADOR PARA ANÁLISE DE
DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE DESENVOLVIMENTO DE JAZIDA,
MÉTODO DE PROVISÃO DE UM SISTEMA PARA ANÁLISE DE DESEMPENHO
DE UM SISTEMA DE DESENVOLVIMENTO DE JAZIDA, E MÉTODO PARA
REALIZAÇÃO DE UMA ANÁLISE DE EQUIPARAÇÃO DE CURVA DE TIPO
10 DE UMA RESPOSTA DE COMPORTAMENTO TÉRMICO TRANSIENTE DE UM
SISTEMA DE DESENVOLVIMENTO DE JAZIDA

É divulgada uma solução para análise de um
desempenho de um sistema de desenvolvimento de jazida. Um
método pode incluir: recepção de dados de comportamento
15 térmico transiente para o sistema de desenvolvimento de
jazida; determinação de um parâmetro térmico do sistema de
desenvolvimento de jazida com base nos dados de
comportamento térmico transiente; e análise de um
desempenho de comportamento térmico transiente do sistema
20 de desenvolvimento de jazida com base no parâmetro térmico.