



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

(11) PI 0807392-9 B1

(22) Data do Depósito: 29/05/2008

(45) Data de Concessão: 25/09/2018



(54) Título: MÉTODO DE CÁLCULO DE UM PLANO DE DESENVOLVIMENTO PARA PELO MENOS UMA PARTE DE UM CAMPO CONTENDO UM RECURSO SUBTERRÂNEO, E MÍDIA PASSÍVEL DE LEITURA POR COMPUTADOR CODIFICADA COM UM PROGRAMA DE COMPUTADOR PARA CÁLCULO DE UM PLANO DE DESENVOLVIMENTO PARA PELO MENOS UMA PARTE DE UM CAMPO CONTENDO UM RECURSO SUBTERRÂNEO.

(51) Int.Cl.: E21B 49/00

(30) Prioridade Unionista: 31/05/2007 US 11/756.244

(73) Titular(es): SCHLUMBERGER HOLDINGS LIMITED

(72) Inventor(es): PETER GERHARD TILKE; WILLIAM J. BAILEY; BENOIT COUET; MICHAEL PRANGE; MARTIN CRICK

(85) Data do Início da Fase Nacional: 04/08/2009

**MÉTODO DE CÁLCULO DE UM PLANO DE DESENVOLVIMENTO PARA PELO
MENOS UMA PARTE DE UM CAMPO CONTENDO UM RECURSO
SUBTERRÂNEO, E MÍDIA PASSÍVEL DE LEITURA POR COMPUTADOR
CODIFICADA COM UM PROGRAMA DE COMPUTADOR PARA CÁLCULO DE UM
PLANO DE DESENVOLVIMENTO PARA PELO MENOS UMA PARTE DE UM
CAMPO CONTENDO UM RECURSO SUBTERRÂNEO**

Campo da Invenção

[001] A presente invenção refere-se na generalidade a poços de petróleo e gás, e refere-se mais especificamente a computação automática de localizações preferenciais de poços e plataformas de produção em um campo de petróleo ou gás.

Antecedentes da Invenção

[002] A determinação da disposição de poços constitui uma importante etapa no gerenciamento de exploração e produção. A disposição do poço afeta o desempenho e a viabilidade de um campo ao longo de sua vida de produção inteira. Entretanto, a determinação da disposição ideal de um poço, ou até mesmo de uma boa disposição de um poço, constitui um problema complexo. Por exemplo, a geologia e características geomecânicas de condições subterrâneas influenciam tanto o custo de perfuração quanto a localização onde os poços podem ser dispostos de forma confiável. As trajetórias dos poços precisam igualmente evitar as trajetórias de poços já existentes. Adicionalmente, os poços possuem restrições práticas de perfuração e construção. As restrições existem igualmente na superfície, incluindo sem limitações restrições batimétricas, restrições jurídicas, e restrições relativas a instalações já existentes tais como plataformas e

tubulações. Finalmente, as incertezas financeiras podem afetar a viabilidade de diversas soluções ao longo do tempo.

[003] Existe um histórico relativamente longo de atividades de pesquisa associadas ao desenvolvimento de computação automatizada e semi-automatizada de planos de desenvolvimento de campos ("Field Development Plans" - FDP's). A maioria dos estudos ou até todos os estudos reconhecem que este problema de otimização específica é altamente combinatorial e não linear. Os trabalhos primordiais tais como de Rosenwald, G. W., Green, D. W., 1974, *A Method for Determining the Optimum Location of Wells in a Reservoir Using Mixed-Integer Programming* [Método para Determinação da Localização Ideal de Poços em um Reservatório Utilizando Programação de Números Inteiros Mistos], *Society of Petroleum Engineering Journal* 14(1), 44-54; e Beckner, B. L., Song, X., 1995, *Field Development Planning Using Simulated Annealing* [Planejamento de Desenvolvimento de Campos Utilizando Recozimento Simulado], SPE 30650; e Santellani, G., Hansen, B., Herring, T., 1998, "Survival of the Fittest" an Optimized Well Location Algorithm for Reservoir Simulation ["Sobrevivência do Mais Apto" um Algoritmo de Localização Otimizada de Poço para Simulação de Reservatório], SPE 39754; e Ierapetritou, M. G., Floudas, C. A., Vasantharajan, S., Cullick, A. S., 1999, *A Decomposition Based Approach for Optimal Location of Vertical Wells* [Uma Abordagem Baseada em Decomposição para Localização Otimizada de Poços Verticais] in *American Institute of Chemical Engineering Journal* 45 (4), páginas 844-859, baseado em abordagens de programação de números

inteiros mistos. Muito embora este trabalho seja pioneiro na área, ele enfoca principalmente poços verticais e modelos estáticos relativamente simples. Mais recentemente, foi publicado um trabalho sobre uma técnica baseada em algoritmo genético híbrido ("Hybrid Genetic Algorithm" - HGA) para cálculo de FDP's que incluem poços não convencionais, isto é, não verticais, e ramificações laterais. Exemplos desse trabalho incluem o trabalho de Guiyaguler, B., Horne, R. N., Rogers, L., 2000, *Optimization of Well Placement in a Gulf of Mexico Waterflooding Project* [Otimização de Disposição de Poço em um Projeto de Inundação com Água no Golfo do México], SPE 63221; e Yeten, B., Durlofsky, L. J., Aziz, K., 2002, *Optimization of Nonconventional Well Type, Location and Trajectory* [Otimização de Tipo, Localização e Trajetória de Poços não Convencionais], SPE 77565; e Badra, O., Kabir, C. C., 2003, *Well Placement Optimization in Field Development* [Otimização de Disposição de Poços em Desenvolvimento de Campos], SPE 84191; e Guiyaguler, B., Horne, R. N., 2004, *Uncertainty Assessment of Well Placement Optimization* [Avaliação de Incerteza de Otimização de Disposição de Poços], SPE 87663. Muito embora a técnica HGA seja relativamente eficiente, o modelo de poço subjacente é ainda relativamente simples, por exemplo, um segmento vertical até uma profundidade de desvio ("kick-off depth") (calcanhar) seguida por um segmento desviado opcional estendendo-se até a parte mais distal do desvio ("toe"). A sofisticação de FDP's otimizados baseados no método HGA descrito acima aumentou nos últimos anos com a inclusão do componente de tempo para suporte de injetores, e na medida

em que a incerteza no modelo do reservatório está sendo levada em consideração. Alguns exemplos incluem os trabalhos de Cullick, A. S., Heath, D., Narayanan, K., April, J., Kelly, J., 2003, *Optimizing multiple-field scheduling and production strategy with reduced risk* [Otimização de preparação de cronogramas para múltiplos campos e estratégias de produção com redução de riscos], SPE 84239; e Cullick, A. S., Narayanan, K., Gorell, S., 2005, *Optimal Field Development Planning of Well Locations With Reservoir Uncertainty* [Otimização de Planejamento de Desenvolvimento de Campo de Localizações de Poços Com Incerteza de Reservatório], SPE 96986. Entretanto, permanece desejável um aperfeiçoamento do cálculo automatizado de FDP's.

Sumário da Invenção

[004] É divulgado um processo automatizado para determinação das localizações superficiais e subterrâneas de poços de produção e injeção em um campo. O processo envolve o planejamento de múltiplos conjuntos independentes de poços em um modelo estático de reservatório utilizando um meio de planejamento de poços automatizado. Os conjuntos de poços mais promissores são então enfatizados com simulação dinâmica de fluxo mediante utilização de uma função de custo, por exemplo, maximizando alternativamente a recuperação de produto ou o benefício econômico. O processo é caracterizado por um fluxo de trabalho hierárquico que tem início com uma grande população de alvos candidatos e furos de drenagem operados por algoritmos simples (rápidos), operando no sentido de uma menor população sobre a qual operam algoritmos complexos

(mais lentos). Em particular, à medida que o número da população candidata se reduz, são utilizados algoritmos cada vez mais complexos e com maior exigência computacional. O aumento da complexidade de algoritmo com a redução da população candidata tende a produzir uma solução em um período de tempo menor, sem comprometer significativamente a precisão dos algoritmos mais complexos.

[005] De acordo com uma configuração da invenção, um método de cálculo de um plano de desenvolvimento para pelo menos uma parte de um campo contendo um recurso subterrâneo compreende as etapas de: identificação de uma população de conjuntos de alvos no campo; redução desta população mediante seleção de uma primeira sub-população mediante utilização de uma primeira ferramenta de análise; redução da primeira sub-população mediante seleção de uma segunda sub-população de conjuntos de alvos mediante utilização de uma segunda ferramenta de análise, em que a segunda ferramenta faz uso de uma maior complexidade de análise que a primeira ferramenta de análise; cálculo de FDP's (planos de desenvolvimento de campo) com base na segunda sub-população de conjuntos de alvos; e apresentação dos FDP's em uma forma tangível.

[006] De acordo com uma segunda configuração da invenção, uma mídia passível de leitura em computador codificada com um programa de computador para cálculo de um plano de desenvolvimento para pelo menos uma parte de um campo contendo um recurso subterrâneo compreende: uma rotina que identifica uma população de conjuntos de alvos no campo; uma rotina que reduz a população de conjuntos de

alvos mediante seleção de uma primeira sub-população dos conjuntos de alvos com utilização de uma primeira ferramenta de análise; uma rotina que reduz a primeira sub-população mediante seleção de uma segunda sub-população de conjuntos de alvos com utilização de uma segunda ferramenta de análise, em que a segunda ferramenta faz uso de uma maior complexidade de análise que a primeira ferramenta de análise; uma rotina que calcula um FDP (plano de desenvolvimento de campo) a partir da segunda sub-população de conjuntos de alvos; e uma rotina que apresenta os FDP's em uma forma tangível.

[007] Características e vantagens adicionais da invenção irão tornar-se mais prontamente aparentes com base na descrição detalhada que se encontra a seguir quando considerada em combinação com os desenhos que se encontram em anexo.

Breve Descrição das Figuras

[008] A Figura 1 é um diagrama de fluxo que ilustra uma computação automatizada de localizações de poços e plataformas de produção em um campo de petróleo ou gás;

a Figura 2 ilustra um campo exemplar utilizado para descrever a operação de uma configuração da invenção;

a Figura 3 ilustra um algoritmo de seleção de alvos;

a Figura 4 ilustra a disposição de alvos no campo da Figura 2;

a Figura 5 ilustra um algoritmo de seleção de furos de drenagem;

a Figura 6 ilustra um algoritmo de seleção de trajetória de reservatório;

a Figura 7 ilustra trajetórias de reservatório e furos

de drenagem selecionados no campo da Figura 2;

a Figura 8 ilustra um algoritmo de seleção de trajetória de carga sobrejacente ("overburden trajectory") e algoritmo de seleção de FDP (plano de desenvolvimento de campo);

a Figura 9 ilustra localizações de plataformas de produção e trajetórias de carga sobrejacente ("overburden") selecionadas no campo da Figura 2; e

a Figura 10 ilustra uma configuração alternativa na qual são utilizados modelos geomecânicos e de instalações para refinamento adicional da população de conjuntos de trajetórias.

Descrição Detalhada

[009] A Figura 1 ilustra uma técnica para computação automatizada de um FDP incluindo localizações de poços e plataformas de produção em um campo de petróleo ou gás. O fluxo de trabalho é organizado em cinco operações principais: seleção de alvos (100), seleção de furos de drenagem (102), seleção de trajetórias de reservatório (104), seleção de trajetórias de carga sobrejacente ("overburden") (106), e seleção de FDP (plano de desenvolvimento de campo) (108).

[0010] A operação de seleção de alvos (100) é inicializada mediante geração de uma grande população inicial (112) de conjuntos de alvos de um modelo geológico (110). Por exemplo, poderão ser gerados 1000 diferentes conjuntos de alvos, muito embora o tamanho real da população dependa da complexidade do campo e outras questões. Cada membro da população é um conjunto completo de alvos para drenagem do(s) reservatório (s), e cada alvo

é caracterizado por uma estimativa de seu valor. Por exemplo, uma simples estimativa de valor consiste no petróleo de tanque padrão associado que se encontra no local ("Stock Tank Oil Initially in Place" - STOIIP). Em operações subseqüentes, a grande população inicial de conjuntos de alvos tem seu tamanho gradualmente reduzido à medida que cada etapa identifica progressivamente os subconjuntos mais economicamente viáveis da população.

[0011] A operação de seleção de furos de drenagem (102) inclui a geração de uma população (114) de conjuntos de furos de drenagem a partir da população alvo (102). Cada furo de drenagem consiste em um conjunto organizado de alvos que constitui os pontos de controle de nível de reservatório em uma trajetória de poço. Cada membro da população gerada (114) consiste em um conjunto completo de furos de drenagem para drenagem do(s) reservatório (s). Cada furo de drenagem compreende alvos de um único conjunto de alvos criado na operação anterior. Deverá ser observado que podem ser criados múltiplos conjuntos de furos de drenagem para um único conjunto de alvos. Cada conjunto de furos de drenagem possui um valor associado que pode consistir, por exemplo e sem limitações, em STOIIP, taxa de fluxo inicial, perfil de curva de declínio, ou perfil de saldo de material.

[0012] A operação de seleção de trajetórias de reservatório (104) inclui a geração de uma população (116) de conjuntos de trajetórias a partir da população de furos de drenagem (114). Em particular, cada membro da população gerada (116) representa uma completação derivada do conjunto de furos de drenagem correspondente na operação

anterior (102). Cada trajetória de poço é uma curva contínua que liga os alvos em um furo de drenagem. No final desta operação (104), o valor econômico aproximado de cada conjunto de trajetórias é avaliado com base nos valores STOIIP de seus alvos e na geometria de cada trajetória de poço. Estes valores são utilizados para redução do tamanho da população mediante seleção do subconjunto de população com os maiores valores econômicos, isto é, os indivíduos "mais aptos". Por exemplo, mediante seleção dos 10% "mais aptos" dos subconjuntos individuais, o tamanho da população pode ser reduzido em uma ordem de magnitude, por exemplo, de 1000 para 100.

[0013] Na operação de seleção de trajetória de carga sobrejacente ("overburden trajectory") (106) cada trajetória na população remanescente (116) de conjuntos de trajetórias criados na operação precedente (104) é possivelmente modificada para serem levados em conta efeitos de carga sobrejacente tais como riscos de perfuração. No final desta operação (106), o valor econômico aproximado de cada conjunto de trajetórias é avaliado com utilização de STOIIP e geometria, tal como na operação anterior, mas também com relação a riscos de perfuração. Os indivíduos "mais aptos" relativamente a valor econômico são então selecionados e organizados formando uma população (118) a ser utilizada na operação seguinte (108). Por exemplo, mediante seleção dos 10% "mais aptos" destes indivíduos é possível reduzir adicionalmente o tamanho da população em uma outra ordem de magnitude, por exemplo, de 100 para 10.

[0014] A operação de seleção de FDP (108) inclui a

realização de rigorosas simulações de reservatório na relativamente pequena população remanescente (118) de conjuntos de trajetórias, por exemplo, 10. O valor econômico de cada membro da população é avaliado mediante utilização de geometria de trajetória, riscos de perfuração, e previsões de produção do simulador de reservatório. Estes valores podem ser utilizados para organizar por ordem de importância os FDP's na pequena população remanescente. O FDP com a classificação mais elevada poderá ser apresentado como constituindo o plano selecionado, ou um conjunto de planos com classificações mais elevadas poderá ser apresentado para permitir que os planejadores levem em conta fatores não incluídos nas computações automatizadas, por exemplo, restrições políticas. O resultado é uma população de FDP (120).

[0015] Uma configuração específica do fluxo de trabalho da Figura 1 será agora descrita com relação ao campo exemplar ilustrado na Figura 2. O campo ilustrado inclui reservatórios de hidrocarbonetos distintas (200) com limites definidos por características subterrâneas tais como falhas geológicas. O STOIIP é indicado por intensidade de cor, em que a cor verde indica o maior STOIIP, e a cor azul indica o menor STOIIP.

[0016] As Figuras 3 e 4 ilustram de forma mais detalhada uma configuração de geração e seleção de conjuntos de alvos. O número de alvos ilustrados (40) é relativamente reduzido para maior clareza de ilustração e facilidade de explicação. Conforme foi mencionado acima, cada membro da população constitui um conjunto completo de alvos para drenagem do(s) reservatório (s). Uma série de

etapas são executadas para identificação de todas as células válidas no modelo de reservatório que podem constituir potenciais poços alvos, e criação de uma lista de células válidas, isto é, Lista de Células Válidas ("Valid Cell List" - VCL). Uma célula potencial é selecionada conforme se encontra indicado na etapa (300). O valor da célula selecionada é então comparado com um limiar conforme se encontra indicado na etapa (302). As células válidas são caracterizadas por um ou mais de um valor mínimo de STOIIP, potencial mínimo de recuperação, e critérios de seleção análogos. Se a célula selecionada for válida, ela será adicionada à lista VCL conforme se encontra indicado na etapa (304). Este processo continua até ser alcançado o final da lista de células, conforme se encontra indicado na etapa (306). É então realizada uma análise de volume acoplado, conforme se encontra indicado na etapa (308), com atribuição de uma id de volume a cada célula. As células com a mesma id de volume são consideradas hidraulicamente contíguas. As ferramentas para realização desta análise existem em software de interpretação moderna, por exemplo, o software Petrel 2007. As etapas seguintes (310, 312) são associadas com inicialização: criação de uma População de Conjunto de Alvos ("Target Set Population" - TSP) vazia, de um Conjunto de Alvos ("Target Set" - TS) vazio, e de uma Lista de Células Válidas de Conjunto de Alvos ("Target Set Valid Cell List" - TSVCL) mediante cópia da lista VCL. A etapa seguinte consiste na seleção aleatória de um alvo, conforme se encontra indicado na etapa (314), isto é, a seleção aleatória de uma célula da lista TSVCL. A etapa seguinte

(316) consiste na identificação analítica de todas as células hidraulicamente contíguas passíveis de serem drenadas por uma completação no centro da célula. São calculados o valor e custo de alvos conforme se encontra indicado na etapa (318). O valor do alvo é o STOIIP total das células drenadas. O custo do alvo é o custo de um poço vertical até o centro da célula alvo, e o valor líquido é então dado pelo valor menos custo. Se o valor líquido for positivo, conforme determinado na etapa (322), o alvo é adicionado ao conjunto TS conforme se encontra indicado na etapa (324). Se o valor líquido for negativo, conforme determinado na etapa (322), o alvo não deverá ser adicionado ao conjunto TS. Nesse caso, a etapa (324) realiza testes para determinar se falhas consecutivas (conjuntos negativos) são maiores que um valor máximo. Se isso ocorrer, o controle passa para a etapa (330), caso contrário o controle retorna para a etapa (314), e um novo alvo é selecionado da lista TSVCL. Se a célula alvo for adicionada ao conjunto TS, conforme se encontra ilustrado na etapa (324), a célula alvo e as células drenadas adicionais são então removidas da lista TSVCL, conforme se encontra indicado na etapa (326). A seleção de alvos (etapa 314) é repetida para as células remanescentes na lista TSVCL até nenhuma célula permanecer na TSVCL, conforme determinado na etapa (328). O conjunto TS populado é adicionado à população TSP conforme se encontra indicado na etapa (330). O fluxo retorna para a etapa (312), a menos que a população TSP tenha alcançado o tamanho desejado ou não possam ser encontrados conjuntos de alvos distintos, conforme se encontra indicado na etapa (332).

[0017] Nas Figuras 5 e 7 encontra-se ilustrada de forma mais detalhada uma configuração de seleção de furos de drenagem. A população de conjuntos de furos de drenagem é gerada conforme já foi aqui descrito, em que cada membro da população constitui um conjunto completo de furos de drenagem para drenagem do(s) reservatório (s) (um conjunto de furos de drenagem (700) encontra-se ilustrado). O procedimento cria inicialmente um recipiente de População de Conjunto de Furos de Drenagem ("Drain Hole Set Population" - DHSP) que irá conter uma população de Conjuntos de Furos de Drenagem ("Drain Hole Sets" - DHS) conforme se encontra ilustrado na etapa (500). O procedimento realiza então um circuito fechado através de cada conjunto TS na população TSP, selecionando o conjunto TS atual, conforme se encontra ilustrado na etapa (502). Um Conjunto de Furos de Drenagem ("Drain Hole Set" - DHS) é gerado mediante conversão do conjunto TS em um conjunto DHS conforme se encontra indicado na etapa (504). Neste caso, cada alvo no conjunto TS torna-se um único Furo de Drenagem ("Drain Hole" - DH) alvo. O valor do furo DH é o valor do alvo. O custo do furo DH é o custo de um poço vertical até o alvo. Este conjunto DHS inicial é adicionado à população DHSP conforme se encontra indicado na etapa (506). Para o conjunto TS atual, são criados novos conjuntos DHS's mediante combinação estocástica de DH's do conjunto DHS inicial existente conforme se encontra indicado na etapa (508). Para que a combinação de cada DH em um novo DH combinado seja válida, cada nó do DH resultante deverá ser mais profundo que o nó precedente. O valor do DH resultante poderá ser computado de diversas maneiras. Uma forma de

computar o valor do DH encontra-se no STOIIP disponível para drenagem pelo DH. Para se encontrar disponível, deverá consistir no mesmo volume acoplado que o DH e deverá encontrar-se mais próximo do DH atual que um outro DH válido. A taxa de fluxo inicial é computada como uma aproximação analítica para uma formulação de simulador de reservatório. Um perfil de curva de declínio é computado mediante combinação do STOIIP com uma taxa de fluxo inicial, com subsequente utilização de uma curva de declínio simples para produção de um perfil para o poço, calculando-se então um valor presente líquido ("Net Present Value" - NPV), ou produção líquida. Finalmente, com utilização do STOIIP e da taxa inicial conforme foi discutido acima, é realizado um cálculo de saldo de material para produção de um perfil de produção para o poço para cálculo de NPV. Isto consiste efetivamente na realização de uma simulação de uma única célula. O custo do DH é a soma do custo computado analiticamente de cada segmento do DH e do segmento vertical até a superfície. Para um determinado conjunto TS, a etapa (508) é repetida até ser excedido o número máximo de DHS's por TS, ou não serem encontrados novos DHS's distintos, ou não serem encontrados novos DHS's com valor líquido positivo. As etapas (502) até (508) são repetidas até a população TSP ser esvaziada, conforme se encontra indicado na etapa (510).

[0018] Nas Figuras 6 e 7 encontra-se ilustrada de forma mais detalhada uma configuração de seleção de trajetória de reservatório. Uma população de conjuntos de trajetórias ("Trajectory Sets Population" - TJSP) é gerada

conforme foi anteriormente descrito, em que cada membro da população é derivado do correspondente DHS na DHSP anteriormente criada. Conforme se encontra ilustrado na etapa (600), são computadas trajetórias geometricamente válidas (900) mediante utilização do otimizador de trajetória de poço existente no software Petrel. Deverá ser observado que o otimizador de trajetória de poço existente atende tanto as localizações de DH quanto as restrições de superfície tais como limites relativos a localizações de plataformas e custos. É criada uma trajetória para cada DH. Para tornar possível uma trajetória geometricamente válida, a localização de cada nó no furo DH deverá desviar-se dentro dos limites da célula. Conforme se encontra ilustrado na etapa (602), o valor de cada trajetória é definido para o valor anteriormente computado do furo DH. Uma possível extensão do otimizador de trajetória de poço consideraria cada DHS como uma condição inicial para a otimização, porém permitiria que os acoplamentos de DH entre alvos fossem ajustados caso dessa forma fosse possível reduzir o custo do DHS. Conforme se encontra ilustrado na etapa (604), o custo de cada trajetória é definido para o custo da trajetória computado pelo otimizador. Se o custo de uma trajetória exceder o valor, conforme determinado na etapa (606), esta trajetória poderá nesse caso ser eliminada. O custo da trajetória também inclui restrições na superfície. Por exemplo, os custos de plataformas podem ser determinados por batimetria, e a distância relativamente a instalações na superfície pode ser determinada de mapas de custo de superfície. Na etapa final (608), o tamanho da população TJSP resultante é

reduzido para provisão do subconjunto líquido (valor - custo) mais elevado. A redução poderá ser da ordem de um fator de 10.

[0019] Nas Figuras 8 e 9 encontra-se ilustrada de forma mais detalhada uma configuração de seleção de trajetória de carga sobrejacente ("overburden trajectory"). Nesta configuração a população TJSP criada na etapa precedente (608, Figura 6) é modificada para otimização relativamente a efeitos de carga sobrejacente ("overburden") tais como riscos de perfuração. Conforme se encontra ilustrado na etapa (800), uma Grade de Tensor de Custo ("Cost Tensor Grid" - CTG) é gerada a partir da carga sobrejacente para definição dos custos de perfuração e construção através da carga sobrejacente. Cada célula na carga sobrejacente tem agora um custo associado à perfuração através dessa célula. O custo é um tensor devido ao fato de ser possível ser relativamente pouco dispendioso perfurar em uma direção e simultaneamente ser relativamente dispendioso perfurar em uma outra direção. Por exemplo, se uma célula estiver associada a uma falha disposta no sentido leste-oeste, poderá ser dispendioso perfurar paralelamente à falha (leste-oeste), porém poderá ser relativamente pouco dispendioso perfurar em sentido normal relativamente à falha (norte-sul). A grade CTG pode ser computada com um mecanismo geomecânico, por exemplo, OspreyRisk. Para cada conjunto de trajetórias (TJS) na população TJSP, o otimizador de trajetória de poço existente é executado para computação de novas trajetórias que utilizam a grade CTG como parte da função objetiva, conforme se encontra indicado na etapa (802). O tamanho

desta nova população TJSP é reduzido conforme se encontra indicado pela etapa (804) para produção de um subconjunto líquido mais elevado (valor - custo). A redução poderá ser da ordem de um fator de 10.

[0020] A seleção de FDP é realizada na relativamente pequena população TJSP produzida da etapa anterior. A operação inclui rigorosas simulações de reservatório. Conforme se encontra ilustrado na etapa (806), é realizada uma simulação completa de reservatório para cada TJS na população TJSP. O valor financeiro dos fluxos de produção do reservatório, possivelmente expressado como um valor líquido presente ("Net Present Value" - NPV) poderá ser utilizado para classificação de membros da população TJSP. Conforme se encontra ilustrado na etapa (808), os resultados são então apresentados em forma tangível, tal como impressos, exibidos em um monitor, e registrados em uma mídia passível de leitura em computador. Por exemplo, poderá ser apresentado o membro com o maior valor NPV e a classificação do mesmo.

[0021] Fazendo agora referência à Figura 10, em uma configuração alternativa são utilizados modelos e ferramentas de análise adicionais para refinamento adicional da população TJSP em uma etapa (1000) de otimização de plataformas anteriormente ao cálculo do valor NPV. Em particular, uma sofisticada ferramenta de cálculo de custo e risco de poço único (por exemplo, Osprey Risk) (1002) poderá ser utilizada em um modelo geomecânico (1004) para refinamento da população TJSP com base em esforços/tensões subterrâneas. Adicionalmente, uma ferramenta de gerenciamento de ativos integrados (por

exemplo, Avocet) (1006) poderá igualmente ser utilizada em um modelo de instalações (1008) para refinamento da população TJSP com base em restrições subterrâneas tais como localizações de instalações existentes tais como tubulações de fornecimento. Nesta configuração, um simulador de reservatório de alta velocidade (por exemplo, FrontSim (1010)) e um simulador de reservatório de alta precisão (por exemplo, Eclipse) (1012) operam no modelo geológico. Outros modelos e ferramentas de análise poderão igualmente ser utilizados.

[0022] As configurações delineadas acima operam em um único modelo "assegurado" geológico, geomecânico e de instalações. As ferramentas de modelagem modernas tais como o software Petrel 2007 permitem a geração de modelos geológicos "incertos". A invenção aqui descrita pode ser implementada neste contexto de tal forma que é possível gerar uma população FDP "incerta". Um modelo geológico incerto é tipicamente descrito através de múltiplas realizações de modelos geológicos certos. Como tal, uma configuração de uma população FDP incerta seria realizada mediante múltiplas realizações.

[0023] É importante reconhecer que devido a fatores desconhecidos e incalculáveis, a realização mais bem sucedida, robusta e eficiente poderá diferir dos resultados da computação. Adicionalmente, é importante observar que diferentes problemas poderão requerer diferentes realizações do algoritmo.

[0024] Muito embora a invenção tenha sido descrita através das configurações exemplares acima, deverá ser entendido por aqueles que são normalmente versados na

técnica que podem ser feitas modificações e variações das configurações ilustradas sem afastamento dos conceitos inventivos aqui divulgados. Adicionalmente, muito embora as configurações preferenciais sejam descritas com relação a diversas estruturas ilustrativas, uma pessoa versada na técnica poderá reconhecer que o sistema pode ser configurado com utilização de uma variedade de estruturas específicas. Desta forma, a invenção não deve ser considerada limitada exceto pelo escopo e espírito das reivindicações que se encontram em anexo.

REIVINDICAÇÕES

1. Método de cálculo de um plano de desenvolvimento de campo para pelo menos uma parte de um campo contendo um recurso subterrâneo, o método caracterizado por compreender as etapas de:

identificação de uma população de alvos no campo de um modelo geológico;

redução da população de alvos ao selecionar um primeiro subconjunto dos alvos utilizando uma primeira ferramenta de análise, em que o primeiro subconjunto dos alvos compreende uma população reduzida dos alvos;

redução do primeiro subconjunto ao selecionar um segundo subconjunto dos alvos a partir do primeiro subconjunto dos alvos utilizando uma segunda ferramenta de análise, em que a segunda ferramenta de análise compreende uma população ainda mais reduzida dos alvos, a segunda ferramenta utilizando uma maior complexidade de análise que a primeira ferramenta de análise;

cálculo do FDP ("*Field Development Plan*" - Plano de Desenvolvimento de Campo) a partir do segundo subconjunto dos alvos; e

apresentação do plano FDP em forma tangível.

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de a identificação da população os alvos no campo incluir a geração de uma pluralidade de conjuntos de alvos a partir do modelo geológico e em que o modelo geológico inclui um modelo de reservatório.

3. Método, de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de cada membro da população é um conjunto completo de alvos para drenagem de um reservatório

e em que cada alvo é determinado por uma estimativa do seu valor incluindo um valor de tanque de óleo padrão inicialmente presente ("*Stock Tank Oil Initially In Place*" - STOIIP) associado.

4. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que o primeiro subconjunto dos alvos compreende a população reduzida dos alvos tendo conjuntos de furos de drenagem.

5. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de cada membro de um conjunto de furos de drenagem incluir pontos de controle de nível de reservatório em uma trajetória de furo perfurado, e em que cada conjunto de furos de drenagem é determinado por pelo menos um valor do grupo incluindo STOIIP, taxa de fluxo inicial, perfil de curva de declínio, e perfil de saldo de material.

6. Método, de acordo com a reivindicação 5, **caracterizado** pelo fato de o segundo subconjunto dos alvos compreender a população ainda mais reduzida dos alvos tendo conjuntos de trajetórias de reservatório tomados a partir dos conjuntos de furos de drenagem, e compreende ainda calcular um valor econômico para pelo menos alguns dos conjuntos de trajetórias de reservatório.

7. Método, de acordo com a reivindicação 6, **caracterizado** pelo fato de incluir a seleção de um subconjunto dos conjuntos de trajetórias de reservatório com base pelo menos em parte no valor econômico.

8. Método, de acordo com a reivindicação 7, **caracterizado** pelo fato de incluir a geração de uma população de conjuntos de trajetórias de carga sobrejacente

("overburden trajectory") a partir do subconjunto de conjuntos de trajetórias de reservatório.

9. Método, de acordo com a reivindicação 8, **caracterizado** pelo fato de incluir a seleção de um subconjunto dos conjuntos de trajetórias de carga sobrejacente com base pelo menos em parte no valor econômico.

10. Método, de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado** pelo fato de incluir a realização de simulações de reservatório no subconjunto selecionado dos conjuntos de trajetórias de carga sobrejacente.

11. Método, de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado** pelo fato de incluir a utilização de um modelo geomecânico para desconsiderar membros do subconjunto selecionado dos conjuntos de trajetórias de carga sobrejacente.

12. Método, de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado** pelo fato de incluir a utilização de um modelo de instalações para desconsiderar membros do subconjunto selecionado dos conjuntos de trajetórias de carga sobrejacente.

13. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de o cálculo do plano FDP incluir a geração de um FDP com incerteza baseado em modelos com incerteza, e em que pelo menos um modelo geológico com incerteza ser descrito através de múltiplas realizações de determinados modelos geológicos, e incluir a geração do plano FDP com incerteza mediante múltiplas realizações.

14. Mídia passível de leitura por computador codificada com um programa de computador configurado para fazer com

que um processador calcule um plano de desenvolvimento de campo (FDP) para pelo menos uma parte de um campo contendo um recurso subterrâneo, a mídia caracterizada por compreender:

- uma rotina que identifica uma população de alvos no campo a partir de um modelo geológico;

- uma rotina que reduz a população de alvos ao selecionar um primeiro subconjunto dos alvos utilizando uma primeira ferramenta de análise, em que o primeiro subconjunto dos alvos compreende uma população reduzida dos alvos;

- uma rotina que reduz o primeiro subconjunto dos alvos ao selecionar um segundo subconjunto dos alvos a partir do primeiro subconjunto dos alvos utilizando uma segunda ferramenta de análise, em que o segundo subconjunto dos alvos compreende uma população ainda mais reduzida dos alvos, a segunda ferramenta utilizando uma maior complexidade de análise que a primeira ferramenta de análise;

- uma rotina que calcula o FDP a partir do segundo subconjunto dos alvos; e

- uma rotina que apresenta o plano FDP em forma tangível.

15. Mídia passível de leitura por computador, de acordo com a reivindicação 14, caracterizada pelo fato de a rotina que identifica uma população dos alvos no campo ser operável para gerar uma pluralidade de conjuntos de alvos utilizando um modelo geológico, e em que o modelo geológico compreende um modelo de reservatório.

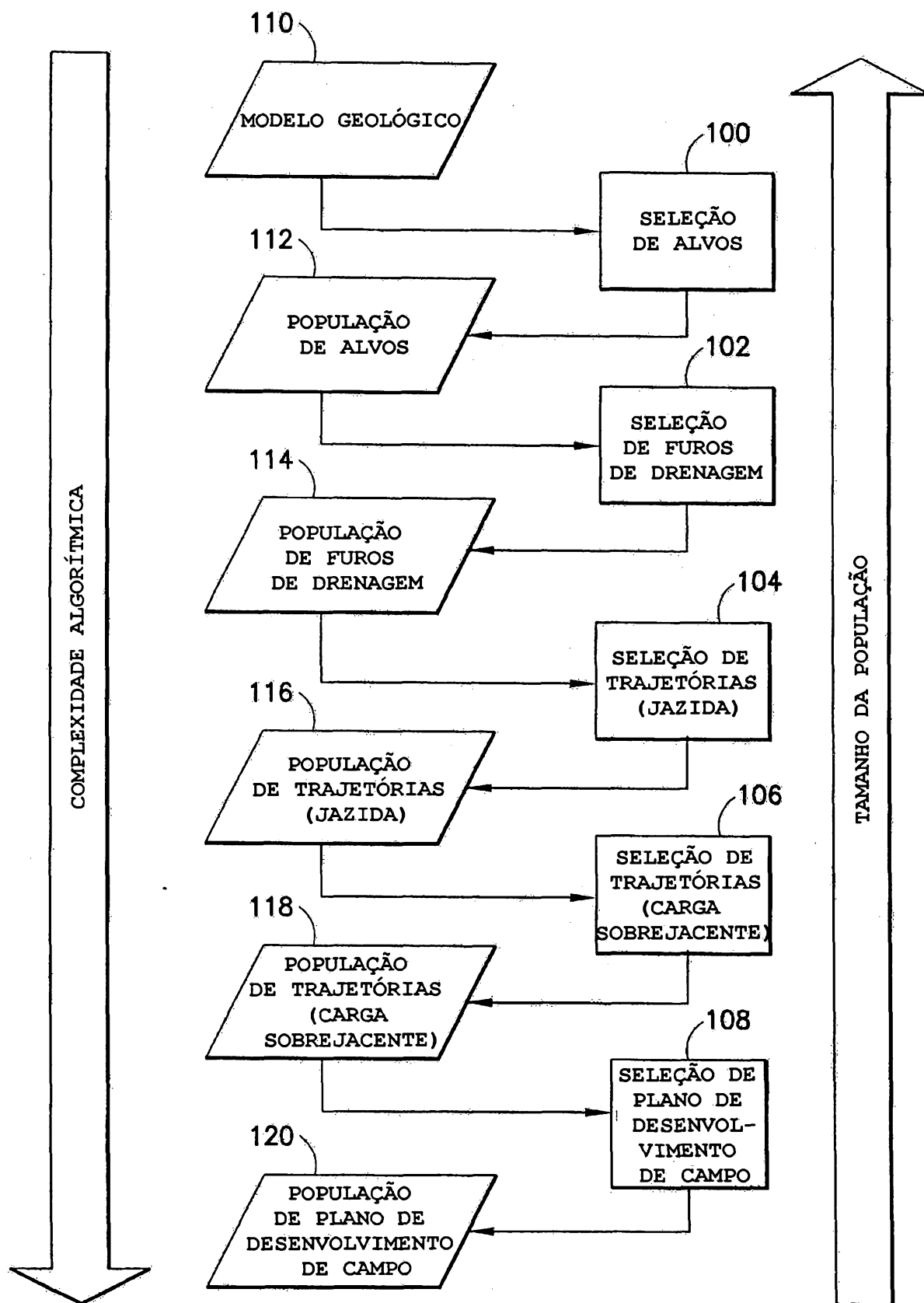


FIG.1

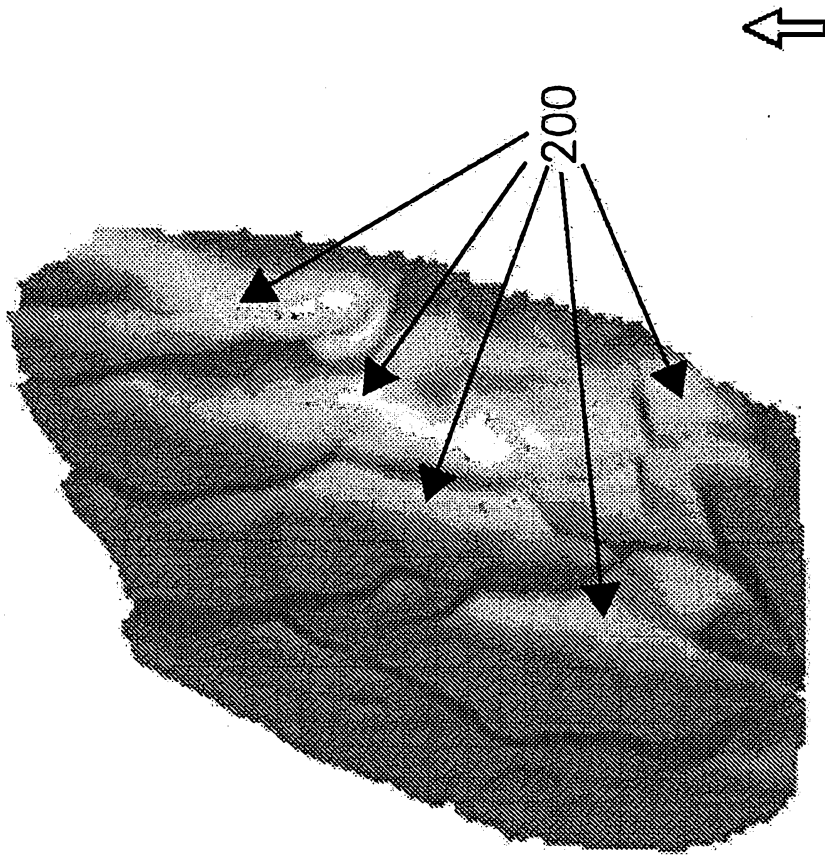


FIG.2

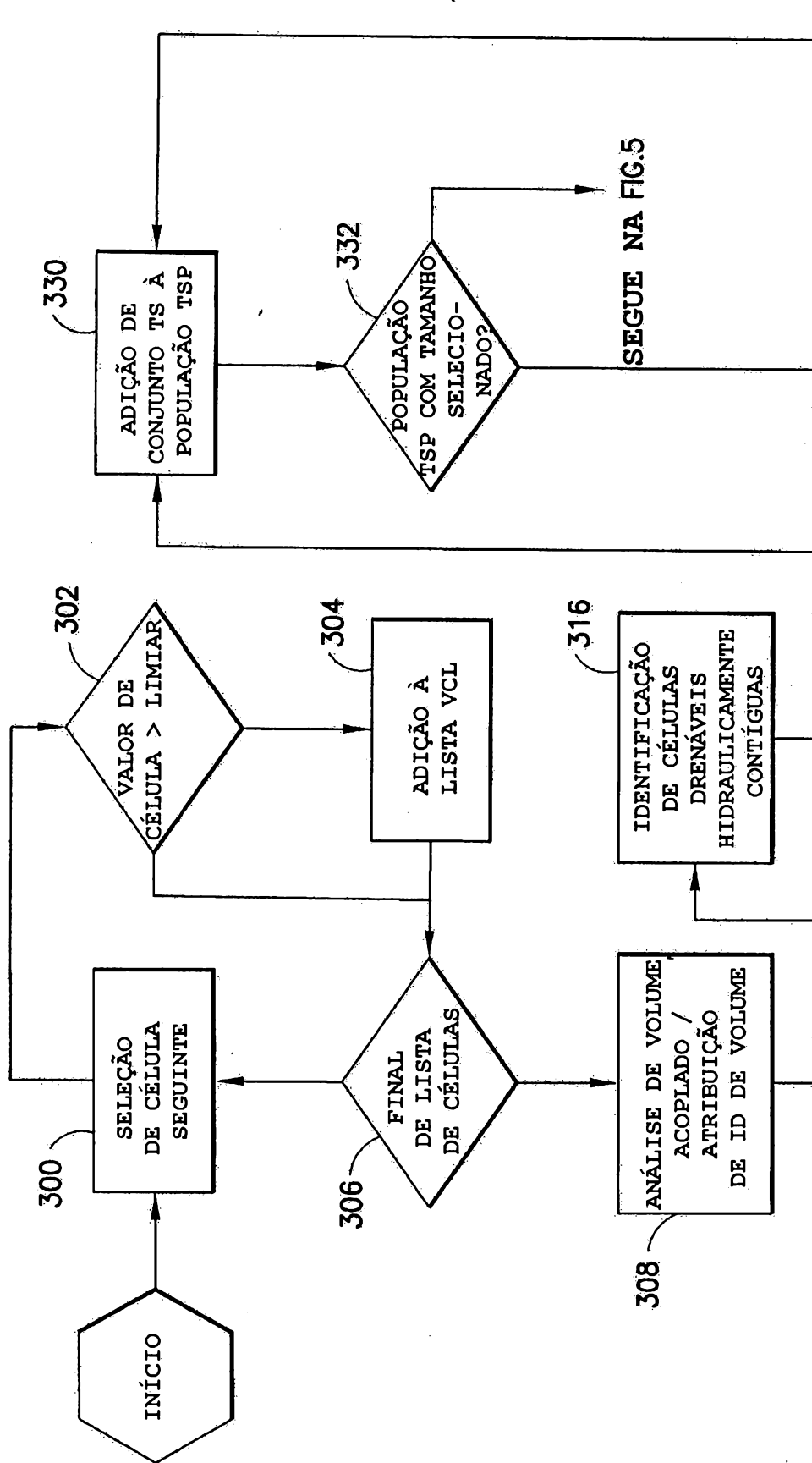


FIG.3A

FIG.3

FIG.3A

FIG.3B

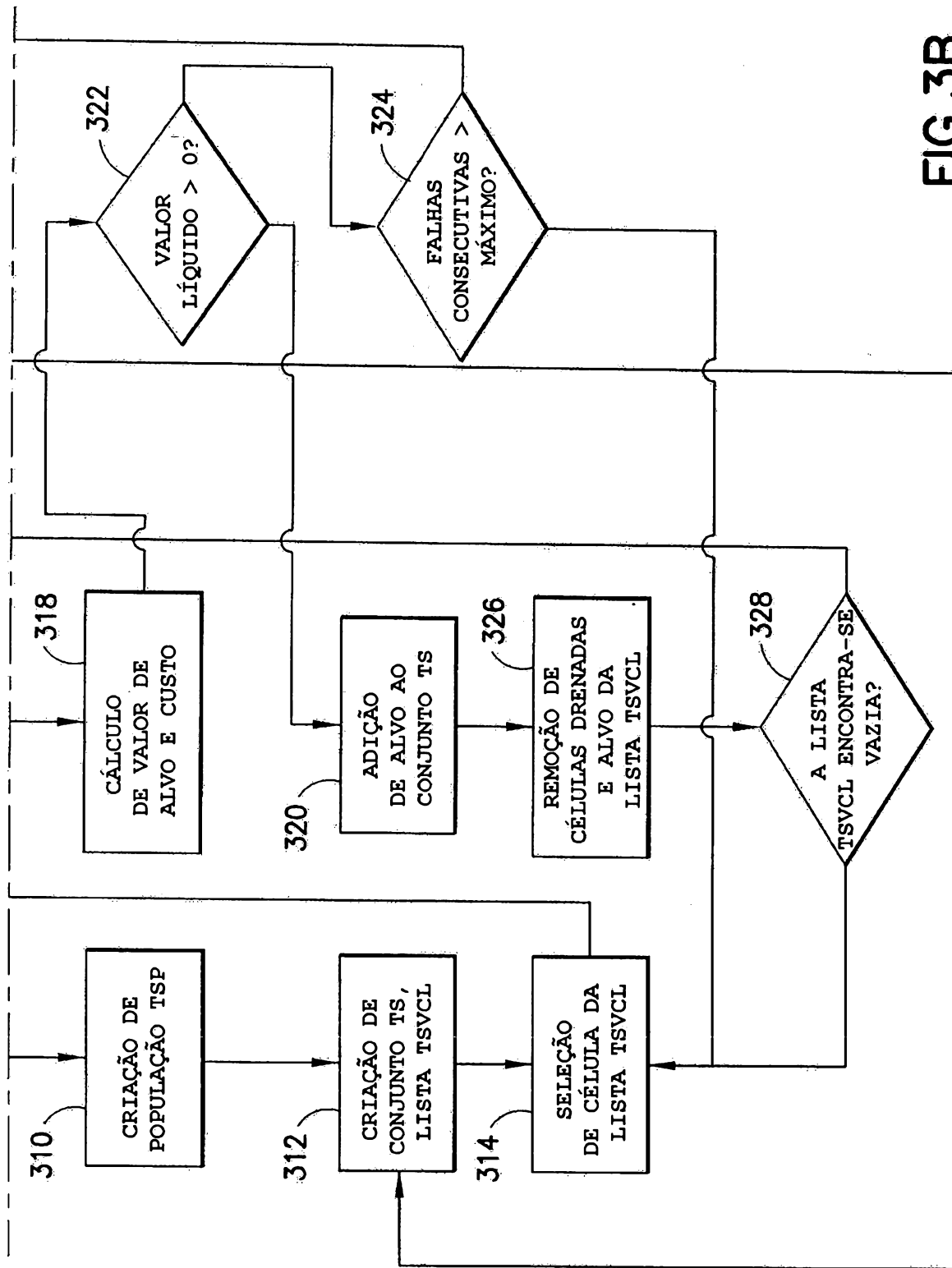


FIG. 3B

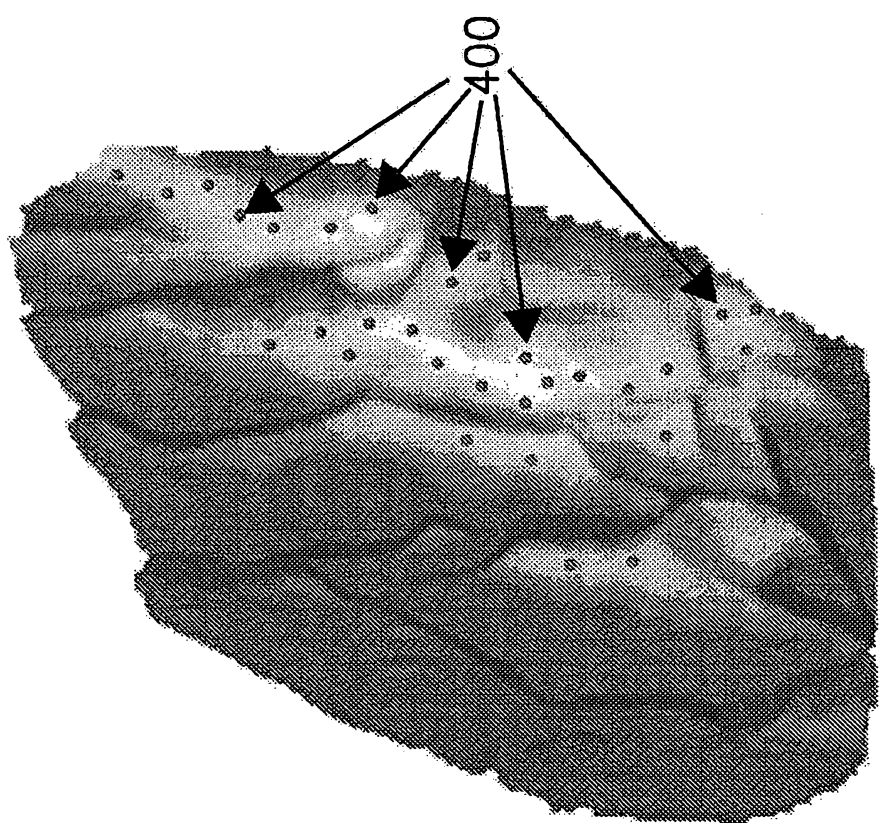


FIG. 4

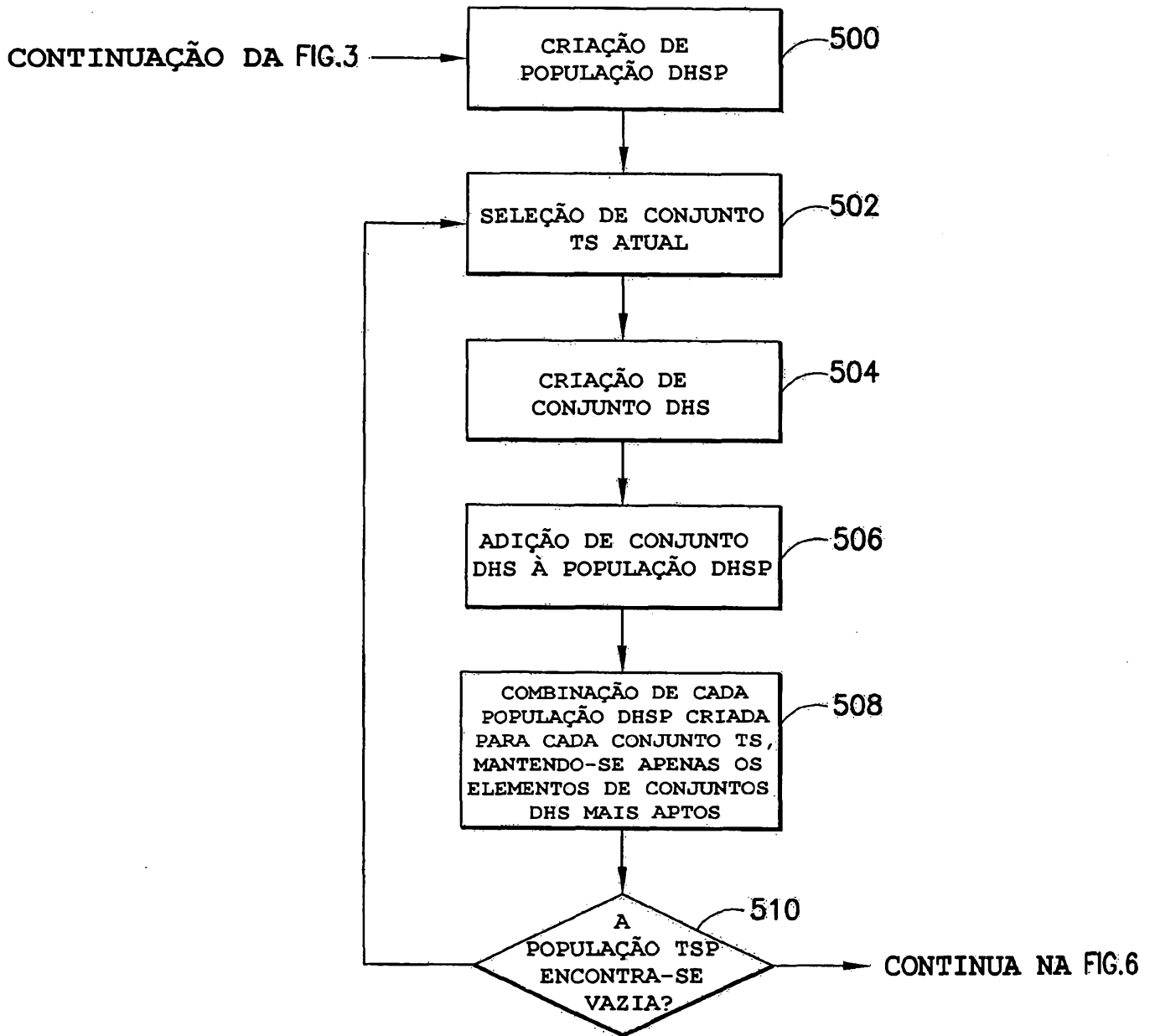
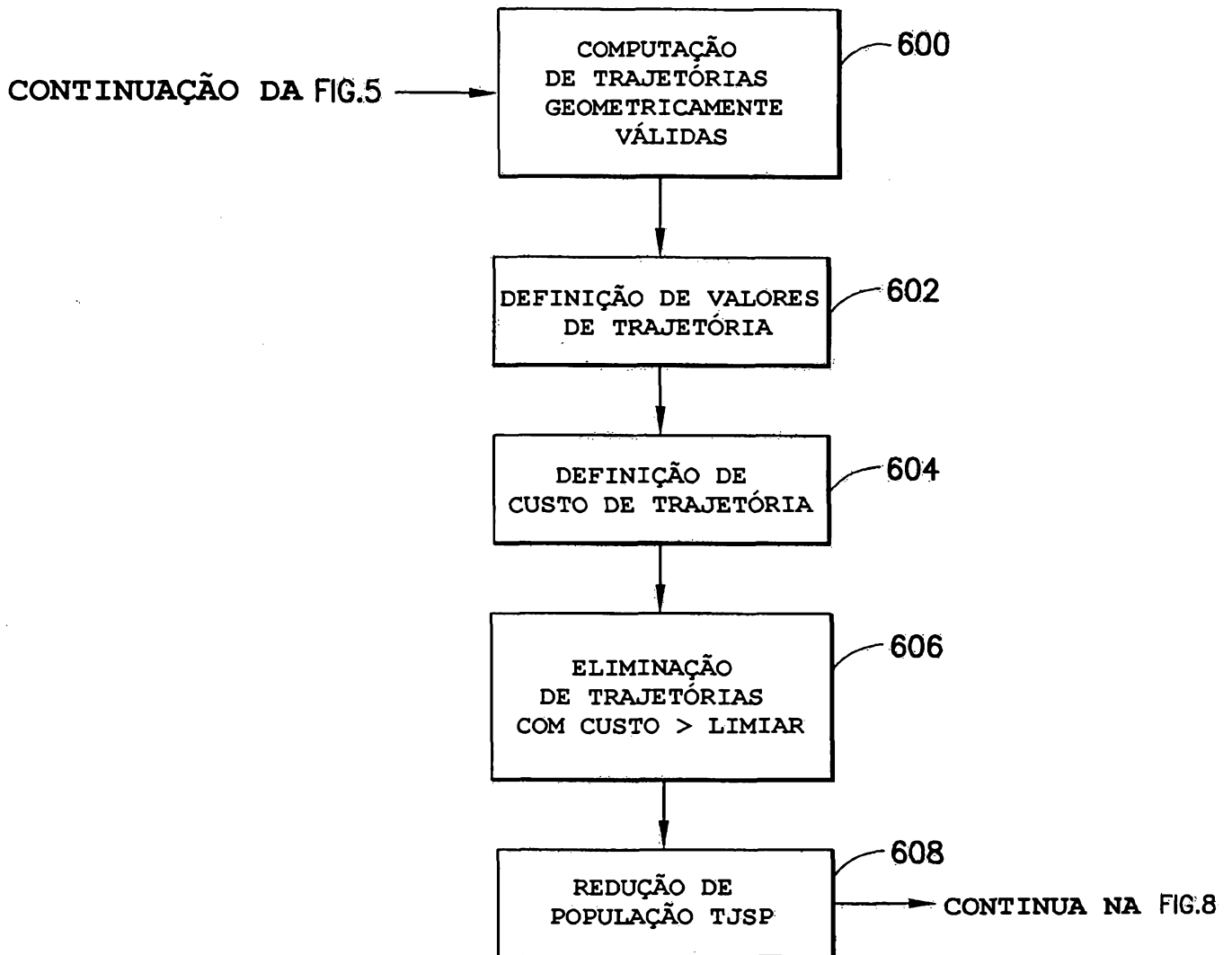


FIG.5



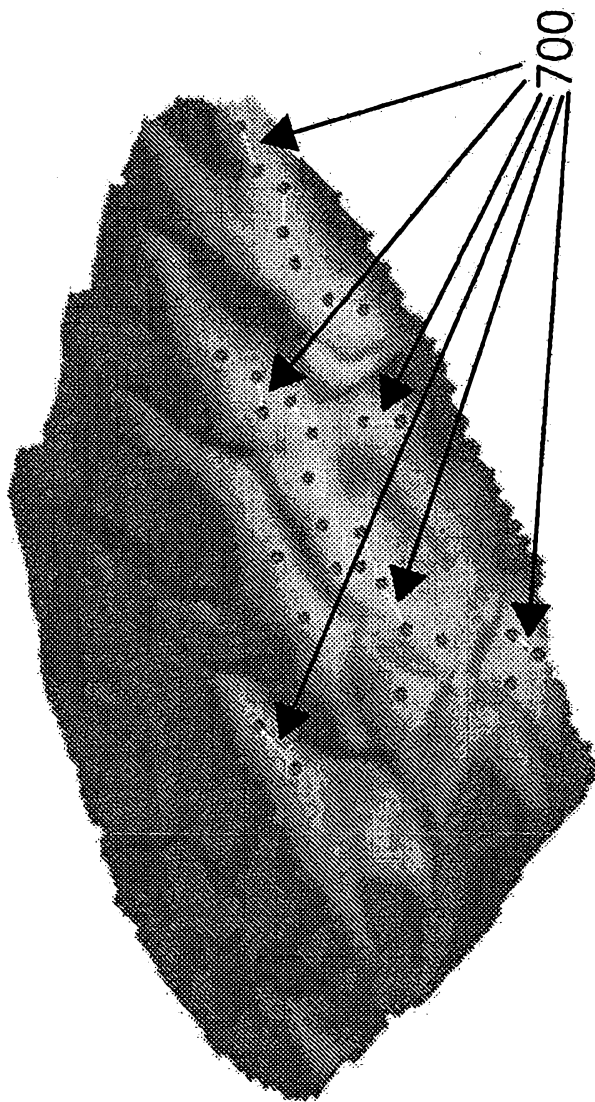


FIG. 7



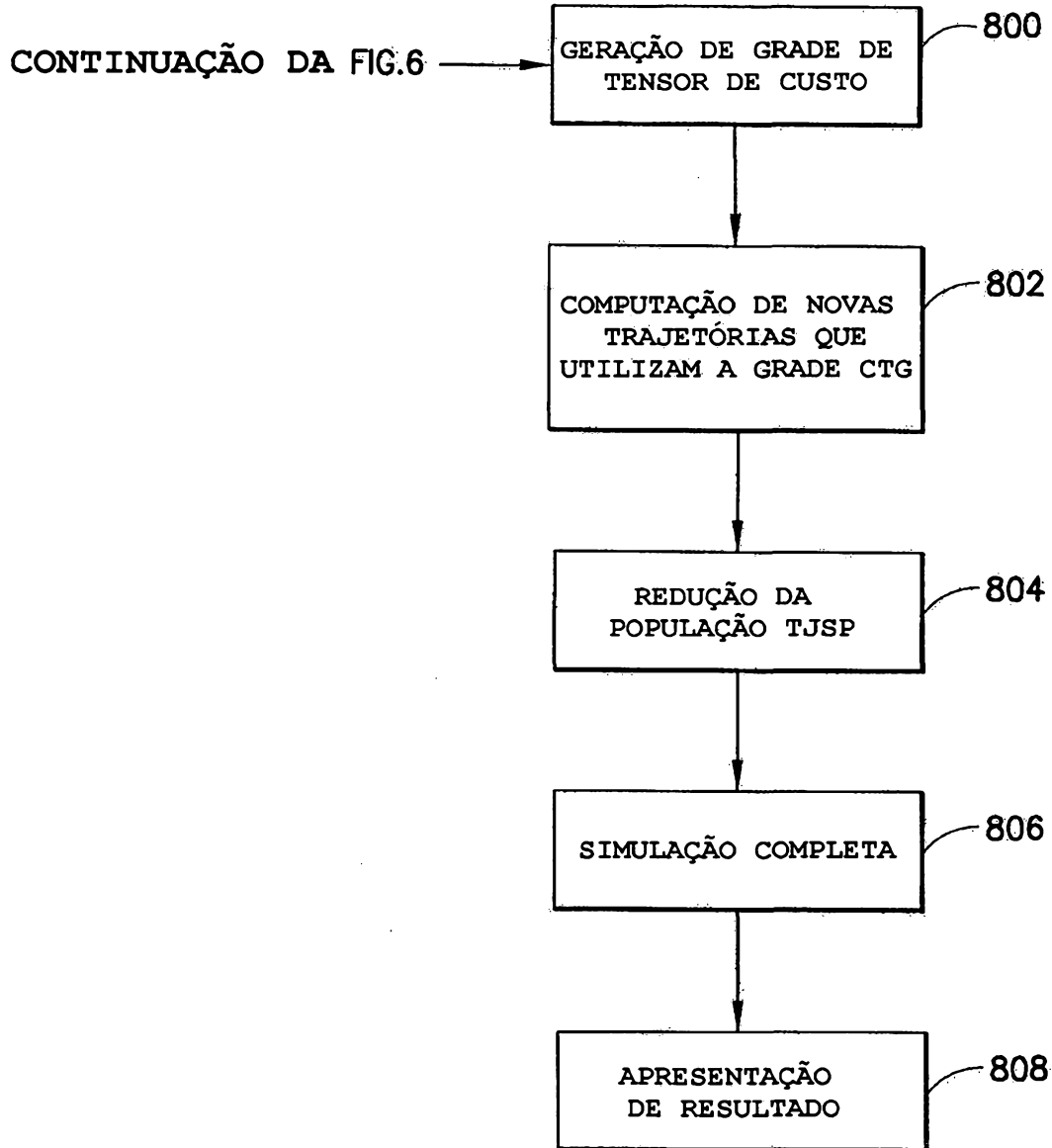


FIG.8

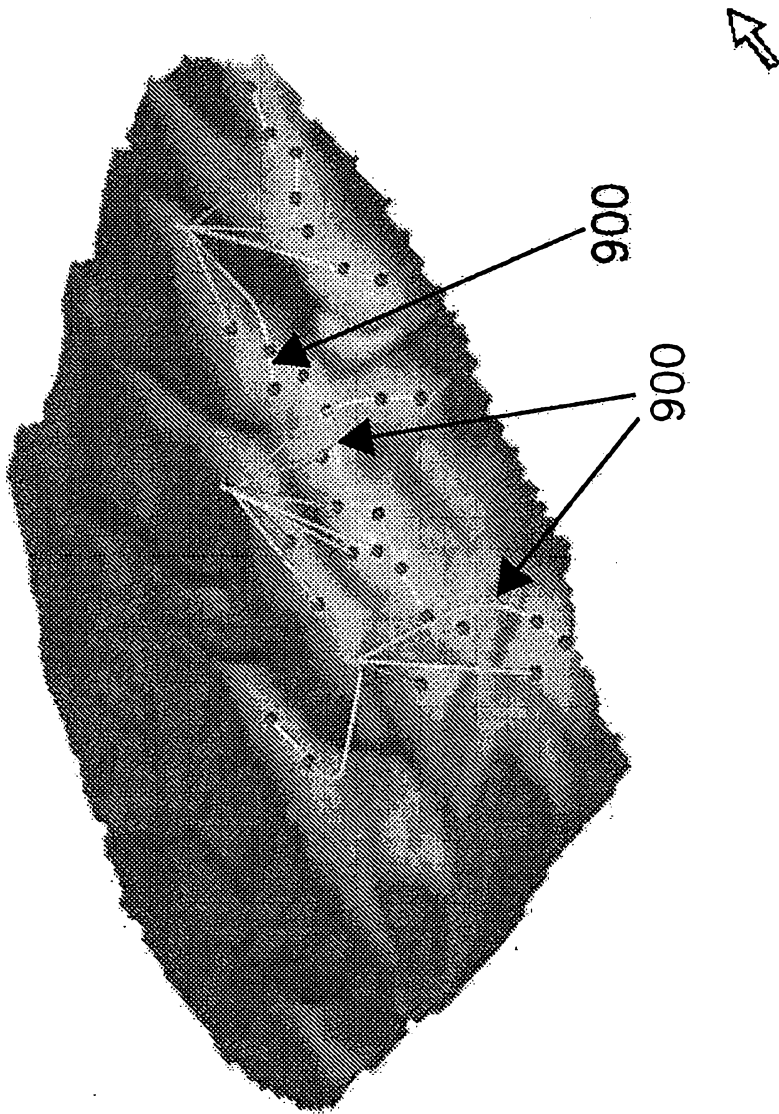


FIG. 9

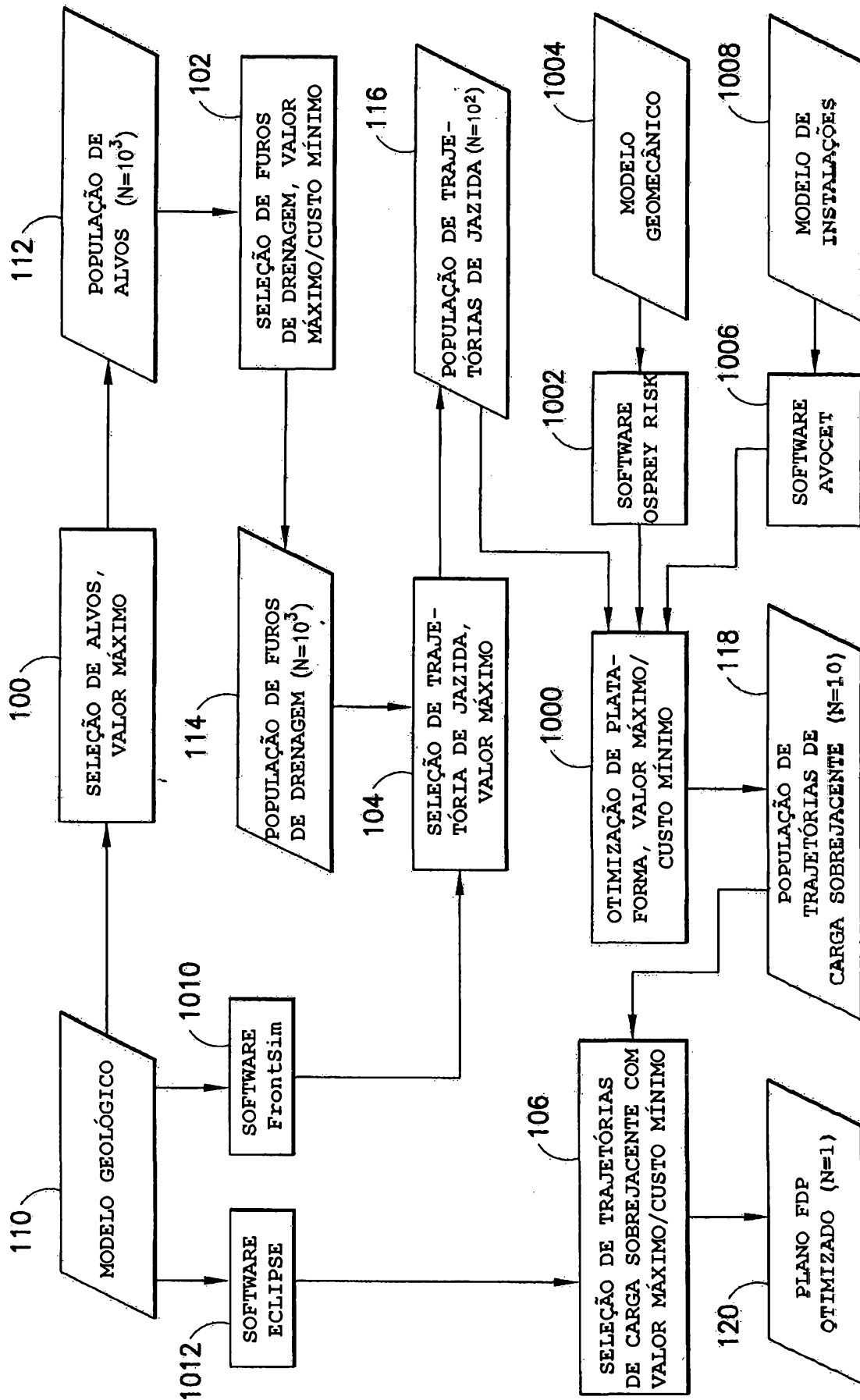


FIG.10