



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

(21) **PI 1002927-3 A2**

(22) Data de Depósito: 13/08/2010
(43) Data da Publicação: 26/12/2012
(RPI 2190)



(51) *Int.Cl.:*
G06F 11/30
B64F 5/00
B64D 43/00

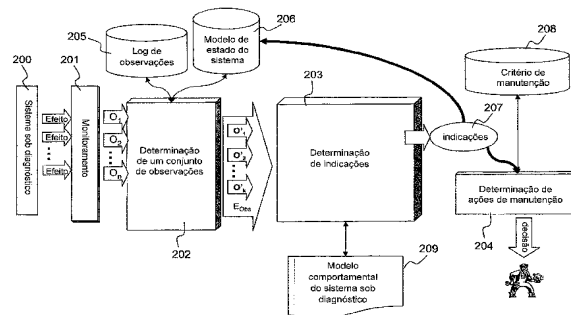
(54) **Título:** DISPOSITIVO PARA DIAGNÓSTICO DE SISTEMA

(30) **Prioridade Unionista:** 14/08/2009 FR 0903981

(73) **Titular(es):** Thales

(72) **Inventor(es):** Christian Sannino, François Fournier, Laurent Robert, Stéphanie Gaudan

(57) **Resumo:** DISPOSITIVO PARA DIAGNÓSTICO DE SISTEMA. A presente invenção refere-se a um dispositivo para diagnóstico de sistema de uma aeronave compreendendo: -meios para o monitoramento de equipamento do sistema, os referidos meios emitindo mensagens de observações com base nos efeitos produzidos pelo equipamento, o referido dispositivo sendo caracterizado pelo fato de que o mesmo adicionalmente compreende: - meios para a determinação de um conjunto de observações com base nas mensagens de observações que surgem a partir do monitoramento, de um relatório das mensagens de observações e de um modelo representando um estado atual do sistema, - meios para a determinação de indicações com base nas observações do conjunto de observações e de um modelo comportamental do sistema, as indicações sendo relações lógicas entre modos operacionais de equipamento dotado de efeitos produzidos, - meios para a determinação de operações de manutenção com base nas indicações.



Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**DISPOSITIVO PARA DIAGNÓSTICO DE SISTEMA**".

A presente invenção refere-se à manutenção de um sistema de uma aeronave composta de um ou mais itens de equipamento, de modo que
5 o referido sistema preencha várias funções necessárias para a realização de um voo.

Os componentes do referido sistema se comunicam entre si e com o ambiente externo por meio de uma rede física. O conjunto de equipamento, incluindo a rede, constitui um sistema chamado o sistema sob diagnóstico.
10

Para aprimorar o grau de confiança concedida aos referidos itens de equipamento e para garantir a sua manutenção, monitoramento da operação adequada dos mesmos é realizado, o mais frequente possível, para cada um dos referidos, consistindo em proporcionar os mesmos com mecanismos internos, hardware e/ou software para detectar anomalias conhecidas pelo nome "monitoramento".
15

A função principal do referido monitoramento é de contribuir para segurança do voo ao testar com frequência a disponibilidade do equipamento, quer dizer a normalidade de seus comportamentos, enquanto a sua função auxiliar é de contribuir para a manutenção do sistema sob diagnóstico ao facilitar a localização de falhas no equipamento.
20

Em sua principal função de segurança do voo, um monitoramento está encarregado de detectar uma possível súbita indisponibilidade do item de equipamento monitorado de modo que o piloto pode ser avisado da referida situação.
25

Em sua função auxiliar de ajudar na manutenção, a função conhecidas pelas iniciais "BITE", derivada da expressão "Built In Test Equipment", um monitoramento está encarregado de proporcionar, cada vez que o mesmo sinalizou um alarme de não-disponibilidade durante a execução de sua principal função de segurança do voo, um relatório mais ou menos detalhado do estado operacional pretendido para incrementar um relatório pós voo denominado PFR ou LLR representando "Post Flight Report" ou "Last
30

Leg Report" produzido para o benefício do pessoal de manutenção de terra.

O sistema sob diagnóstico é passível de mudanças; vários eventos podem modificar sua constituição: a inserção de novo equipamento na rede, falhas no equipamento, reconfiguração da rede ou passivação seletiva (quer dizer o fato de não mais usar parte do equipamento). A localização de falhas no sistema sob diagnóstico é confiada ao dispositivo de manutenção.

Um dispositivo de manutenção de acordo com a técnica conhecida não é adequado para levar as referidas mudanças em consideração. O problema de levar as mudanças em consideração é solucionado pelos sistemas de manutenção na forma de autômatos configurados com base em um modelo estabelecido durante a fase de desenvolvimento do sistema sob diagnóstico. O inconveniente dos referidos sistemas de manutenção é que os mesmos necessitam de atualização regular para levar em conta as modificações de configurações ou do estado geral do avião. Um dispositivo de diagnóstico para um sistema, um gráfico de fluxo do qual é apresentado na figura 1, é conhecido, por exemplo, a partir do document o "Modeling techniques and algorithms for probabilistic model-based diagnostic and repair", (Sampath Srinivas. Knowledge Systems Laboratory, Computer Science Department, Stanford University, Portland, 1995). O referido dispositivo compreende meios para a observação de um sistema sob diagnóstico, meios para diagnóstico de falha consistindo em probabilidades de computação de falha para os elementos do sistema e meios para a determinação de operações de manutenção a serem realizadas de modo a reparar a falha.

Um dispositivo de manutenção de acordo com a técnica conhecida apresenta outro grande inconveniente, que é o pobre gerenciamento da quantidade de informação que surgem a partir dos monitoramentos, por conta do uso de regras de correlação empíricas. Ao se deparar com uma grande quantidade de informação mais ou menos relevante, os dispositivos atuais acabam sendo inadequados e não otimizados.

A presente invenção tem o objetivo de notavelmente aliviar os dois problemas citados acima ao propor um sistema de manutenção aprimo-

rado levando em consideração em um modo dinâmico as mudanças do sistema sob diagnóstico e automaticamente correlacionando as várias informações conhecidas.

5 Para este fim, o objetivo da presente invenção é um dispositivo para diagnóstico de sistema de uma aeronave compreendendo equipamento, o referido dispositivo compreendendo:

- meios para o monitoramento do equipamento, os referidos meios emitindo mensagens de observações com base nos efeitos produzidos pelo equipamento do sistema, o referido dispositivo sendo caracterizado
10 pelo fato de que o mesmo adicionalmente compreende:

- meios para a determinação de um conjunto de observações com base nas mensagens de observações que surgem a partir dos meios para o monitoramento, de um relatório das mensagens de observações e de um modelo representando um estado atual do sistema, os referidos meios
15 para a determinação de um conjunto de observações implementando lógica temporal,

- meios para a determinação de indicações com base nas observações do conjunto de observações e de um modelo comportamental do sistema, as indicações sendo relações lógicas entre modos operacionais de
20 equipamento dotado de efeitos produzidos,

- meios para a determinação de operações de manutenção com base nas indicações.

O dispositivo de acordo com a presente invenção implementa um modelo, denominado um modelo de espelho, que é atualizado com cada
25 modificação do sistema sob diagnóstico e o qual assim reflete fielmente o sistema sob diagnóstico. O referido modelo pode também representar as relações casuais (isto é, relações de causas para os efeitos) do sistema sob diagnóstico. Seria então possível para o referido modelo ser facilmente desenvolvido durante o projeto do sistema sob diagnóstico ao usar os dados
30 que surgem a partir da análise de confiabilidade operacional (FMEA Failure Mode Effect Analysis) e o projeto de modo geral. O uso de um modelo de espelho que surge a partir da FMEA compreende uma primeira vantagem de

natureza econômica no sentido de que o mesmo torna possível não ter que se desenvolver um modelo específico usado unicamente para diagnóstico.

O dispositivo de acordo com a presente invenção implementa diagramas de decisão binária com a vantagem de representar conjuntos de combinações de variáveis de uma função, em uma maneira extremamente completa e concisa. Menos espaço de memória é ocupado com relação às tabelas da verdade habitualmente usadas. Adicionalmente, os tempos de processamento para as funções rerepresentadas na forma de um diagrama de decisão binária são em geral mais rápidos.

O dispositivo adicionalmente compreende uma arquitetura original o que torna possível se processar com sucesso o aspecto temporal, o aspecto causal e o aspecto probabilístico de um problema de localização de falha. O aspecto temporal consiste em administrar a cronologia das mensagens emitidas pelos vários componentes do sistema sob diagnóstico. O aspecto causal consiste em estabelecer um link entre as mensagens e o equipamento ou componentes a partir dos quais as referidas mensagens são propensas de se originar. Finalmente o aspecto probabilístico torna possível determinar o equipamento a ser suspeito por prioridade.

A presente invenção será melhor entendida e outras vantagens se tornar-se-ão aparentes a partir da leitura da descrição detalhada oferecida apenas como exemplo não limitante e com a ajuda das figuras dentre as quais:

A figura 1, já apresentada, representa um exemplo de um dispositivo de diagnóstico de acordo com a técnica conhecida.

A figura 2 representa um exemplo de um dispositivo de diagnóstico de acordo com a presente invenção.

A figura 3 representa um autômato com base em restrição exemplificativo.

As figuras 4.1, 4.2 e 4.3 representam várias modalidades alternativas do dispositivo para diagnóstico de acordo com a presente invenção.

A figura 5 apresenta um exemplo de uma primeira modalidade de um sistema de diagnóstico de acordo com a presente invenção.

A figura 6 apresenta um exemplo de uma segunda modalidade de um sistema de diagnóstico de acordo com a presente invenção.

A figura 7 representa um exemplo de um modelo de um item de equipamento sob diagnóstico.

5 A figura 8 representa um exemplo de um diagrama de decisão binária sob duas diferentes representações.

A figura 9 representa um exemplo de uma terceira modalidade de um sistema de diagnóstico de acordo com a presente invenção.

10 A figura 2 representa um exemplo do dispositivo de diagnóstico de acordo com a presente invenção. O dispositivo de diagnóstico para um sistema 200 compreende meios 201 para o monitoramento do equipamento, os referidos meios emitindo mensagens de observações O_1, O_2, \dots, O_n com base nos efeitos que se originam a partir do sistema 200, meios 202 para a determinação de um conjunto de observações E_{obs} com base nas mensagens de observações O_1, O_2, \dots, O_n que surgem a partir dos meios para o monitoramento 201, de um relatório 205 das mensagens de observações O_1, O_2, \dots, O_n e do modelo do sistema 206, meios 203 para a determinação de indicações 207 com base nas observações O'_1, O'_2, \dots, O'_k do conjunto de observações E_{obs} e de um modelo comportamental 209 e finalmente meios
15 204 para a determinação de operações de manutenção com base nas indicações 207.

O modelo do sistema 206 contém o estado atual do sistema 200.

O modelo comportamental 209 contém a descrição dos efeitos produzidos pelos vários modos de funcionamento defeituoso (falhas, indisponibilidades, etc.) dos componentes do sistema 200, assim como observa-
25 ções produzidas pelos meios para o monitoramento 201.

Os meios para o monitoramento são idênticos aos meios para o monitoramento de acordo com a técnica conhecida. Os referidos meios são, por exemplo, implementados por sensores físicos ou outras funções do tipo
30 BITE do equipamento.

As observações usadas podem denotar informação relativa à operação adequada ou operação inadequada. A presença ou a ausência de

uma mensagem é portanto interpretada de modo diferente dependendo do tipo de operação observada. De fato, durante a operação nominal, determinadas mensagens estão presentes e outras ausentes. Por exemplo, um item de equipamento pode sinalizar sua operação adequada por uma mensagem periódica "saudável", e o mesmo pode também sinalizar um funcionamento defeituoso quando tiver detectado por uma mensagem de "falha_XX". A ausência de uma mensagem "saudável" é portanto interpretada de modo diferente a partir da ausência da mensagem de "falha_XX".

Os mecanismos de filtragem de acordo com a técnica conhecida são limitados à simples confirmação. Por exemplo, uma observação pode ser transmitida pela função de monitoramento para um item de equipamento se a referida observação é observada por diversos ciclos de observação. Por exemplo, se um item de equipamento emite uma mensagem "saudável" a cada 15 segundos a um observador, o referido observador pode aguardar observar a ausência de uma mensagem "saudável" por diversos ciclos sucessivos de 15 segundos antes de confirmar por uma mensagem do tipo "equipamento perdido". Os meios 202 para a determinação de um conjunto de observações E_{obs} de acordo com a presente invenção usam um relatório 205 das observações. O relatório 205 das observações é armazenado em uma memória. O referido relatório 205 compreende, por exemplo, as várias mensagens de monitoramento recebidas as quais são datadas.

A presença ou ausência de uma mensagem é traduzida em um estado de observação no modelo 206 do estado atual do sistema. Os meios para a atualização do modelo 206 do estado atual do sistema compreendem uma atualização do estado de as observações que implementa uma filtragem das referidas observações. Por exemplo, será possível se atualizar os estados de observações correspondendo às informações recebidas em um e mesmo intervalo de tempo, e ignorar as mensagens recebidas bem a montante de modo a aprimorar a qualidade do diagnóstico. O filtro temporal é um exemplo dos possíveis filtros para o isolamento de informação relevante para um diagnóstico. A filtragem temporal pode também consistir em reconhecer um evento já observado e processado, o qual portanto, não proporciona

nova informação. Por exemplo, a presença ou ausência de uma mensagem de "falha_XX" é rerepresentada por uma Boolean no modelo. Por padrão, na inicialização do modelo 206, a Boolean "falha_XX" é ajustada em falso para representar a sua ausência. Se a mensagem de "falha_XX" é emitida pelo sistema em um determinado instante, a mesma será usada pelos meios 202 para a determinação de um conjunto de observações E_{obs} de modo que a variável Boolean do modelo "falha_XX" é modificada para adotar o valor verdade.

O dispositivo de acordo com a presente invenção compreende meios 203 para a determinação de indicações 207 com base nas observações O'_1, O'_2, \dots, O'_k do conjunto de observações E_{obs} , as indicações 207 sendo relações lógicas entre modos operacionais de equipamento (defeito, indisponível, etc.) dotadas de efeitos produzidos na entrada dos meios para o monitoramento 201 e sendo rerepresentadas na forma de relações lógicas LR1, LR2, LRk. Os referidos meios implementam a pesquisa pelas causas que podem ter levado ao conjunto de observações constituídas pela presente situação. Os referidos meios usam um modelo comportamental 209 do sistema a ser diagnosticado. O modelo comportamental 209 do sistema sob diagnóstico corresponde à descrição do comportamento da propagação das falhas. O uso do referido modelo 209 e de sua atualização dinâmica é descrito na patente publicada sob o número de referência FR2917200.

Outro modo de incorporar os meios 203 para a determinação de indicações 207 consiste em deduzir uma lista de indicações por meio de operações para combinar diversas relações lógicas com base nas regras de álgebra de Boole e no conhecimento de que os estados "saudável", conhecidos ou não, dos constituintes das equações lógicas.

É lembrado que o referido modelo 209 compreende componentes correspondendo a equipamento do sistema sob diagnóstico. De acordo com uma característica da presente invenção, cada componente compreende pelo menos: um fluxo de entrada, um fluxo de saída, um estado indicando a disponibilidade do item de equipamento e compreendendo: um modo de falha, indicando se o componente está com defeito ou saudável e

um modo de operação indicando se o componente está ligado, desligado ou indisponível, e uma relação lógica entre o fluxo de entrada, o fluxo de saída e o estado por um lado, e o fluxo de saída por outro lado.

De acordo com uma característica da presente invenção, a função que define o comportamento do componente é realizada com um autômato com base em restrição. A figura 3 representa um autômato com base em restrição exemplificativo. O referido autômato compreende estados 301,302 e transições entre o estados. Um autômato com base em restrição é um autômato para o qual a mudança de estado (transição) pode ser condicionada por restrições lógicas. Por exemplo, se um item de equipamento pode estar em modo de teste apenas quando o avião está em terra, a passagem a partir do estado convencional "nominal" 301 do item de equipamento para um estado "em teste" 302 será possível apenas quando a variável representando a fase de voo do avião está "em_terra".

Um autômato com base em restrição pode ser descrito, por exemplo, na linguagem Altarica. Informação sobre a linguagem pode ser encontrada na Internet no site <http://altarica.labri.u-bordeaux.fr> e por exemplo no artigo: Alain Griffault, Sylvain Lajeunesse, Gérald Point, Antoine Rauzy, Jean Pierre Signoret, e Philippe Thomas. The AltaRica language. In Balkema Publishers, Proceedings de the International Conference on Safety e Reliability, ESREL'98, 20-24 de junho de 1998.

A linguagem AltaRica é uma linguagem para modelar sistemas para realizar estudos de dependabilidade do sistema operacional. Os componentes são conectados juntos por links que conectam fluxos de saída de um componente aos fluxos de entrada de outros componentes. O conceito de fluxo torna assim possível se manifestar dentro do modelo as interações e as dependências entre os componentes, assim modelar o modo pelo qual as falhas e as observações se propagam no sistema sob diagnóstico.

O modelo comportamental 209 reproduz a estrutura do sistema sob diagnóstico em um modo hierárquico: um componente pode ser decomposto em um conjunto de componentes interconectados. A referida característica é significativa em relação aos exemplos hierarquizados e centraliza-

dos descritos posteriormente.

Os fluxos de entrada são usados para representar, por exemplo, um fornecimento de energia elétrica, dados numéricos ou um fluxo de ventilação.

5 Os fluxos de saída são usados para representar os dados emitidos por um componente. Os mesmos representam os dados funcionais mas também os dados que servem para diagnóstico (quando o componente cria mensagens de manutenção com base os mesmos observam).

10 O estado de um componente representa a configuração geral do item de equipamento correspondente. O mesmo é caracterizado por um ou mais valores. Um valor representa o estado de integridade do componente (Intacto, degradado tipo A, degradado tipo B, fora de serviço), enquanto o outro pode representar o modo de operação (ligado, desligado, em teste, etc).

15 Os fluxos de entrada, os fluxos de saída e o estado dos componentes são rerepresentados por variáveis Boolean. As funções que definem o comportamento dos componentes são fórmulas de proposição que combinam as referidas variáveis Boolean com a ajuda de operadores lógicos E e OU. assim, no diagnóstico, os eventos são explicações (causas) do diagnóstico.
20

A figura 7 representa um exemplo de um modelo de um sistema sob diagnóstico. O modelo compreende quatro componentes. Um primeiro componente 701 corresponde a um fornecimento de energia elétrica. O primeiro componente 701 compreende dois fluxos de saída para um segundo
25 702 e um terceiro componente 703. Os referidos fluxos representam o fluxo de fornecimento de energia elétrica "elec". O componente 702 compreende um fluxo de saída para o componente 703 representando os dados enviados "data". Finalmente, os componentes 702 e 703 compreendem um fluxo de saída para um quatro componente de observação, representando mensa-
30 gens usadas para diagnóstico. O componente 702 envia uma mensagem "saudável_702" denotando sua operação adequada. O componente 703 envia uma mensagem "saudável_703" denotando sua operação adequada, e

envia uma mensagem "dados_perdidos_702", tornando possível se sinalizar a perda, detectada pelo componente 703, dos dados emitidos pelo componente 702. De modo que o exemplo permanece simples, considerando que cada um dos fluxos (elec, data, saudável_702, saudável_703 e dados_perdidos_702) é rerepresentado por uma variável Boolean. Um fluxo é ausente (ausência de suprimento de energia elétrica, ausência de data, ausência de mensagem saudável ou falha) presente (o fornecimento de energia é proporcionado, os dados são proporcionados, as mensagens de manutenção estão presentes).

Da mesma maneira, neste exemplo, os autômatos representando o comportamento do equipamento 701, 702, 703 são simples: os mesmos compreendem dois estados: intacto ou fora de serviço.

As relações lógicas que descrevem o comportamento do sistema sob diagnóstico são as a seguir:

elec.presente = 701.intacto.

Quando o componente 701 está intacto (rerepresentado pela variável 701.intacto), os fluxos elec estão presentes.

saudável_702.presente = 702.intacto E elec.presente

Quando o componente 702 é intacto, os dados data estão presentes, e a mensagem saudável_702 está presente.

saudável_703.presente = 703.intactE elec.presente

dados_perdidos_703.presente= data.ausente E saudável_703.presente

Quando o componente 703 é intacto, a mensagem saudável_703 está presente, e a mensagem dados_perdidos_703 está presente apenas se o fluxo de dados recebidos do componente 702 estiver ausente.

Quando um dos componentes 701, 702 ou 703 está Fora de serviço, todos os seus fluxos de saída estão ausentes. Isto é formalizado por uma afirmação associada com cada fluxo de saída tornando possível se definir seus valores como uma função dos fluxos de entrada e do estado do componente. Teremos, por exemplo:

Afirmação

702.saudável = se (702.elec = presente e 702 =intacto) presente,
ou ausente

703.saudável = se (702.elec = presente e 703 =intacto) presente,
ou ausente

5 703.dados_perdidos_302 = se (elec = presente e 702=intacto e
data = ausente) presente, ou ausente

Outra representação das relações lógicas é aquela denominada
"Diagrama de decisão binária" (BDD) tal como descrito, dentre outras publi-
cações, por Randal Bryant em IEEE Transactions on Computadores, C-35-8,
10 pp.677-691, August, 1986 [Bryant86].

É lembrado que um diagrama de decisão binária consiste em
nodos e folhas terminais conectadas juntas pelas ramificações, cada nodo
representando uma variável Boolean indicando a presença ou a ausência de
um evento, a partir dos quais duas ramificações surgem, uma ramificação
15 sendo denominada "terminal" se a mesma termina em uma folha terminal de
valor "0" ou "1", ou sendo denominada "intermediária" se a mesma termina
em outro nodo, uma primeira ramificação representando o caso onde o e-
vento reapresentado é ausente (ramificação "0"), e a segunda ramificação
representando o caso onde o evento reapresentado é presente (ramificação
20 "1"), o diagrama compreendendo um nodo de raiz única a partir dos quais
duas ramificações, às quais os nodos ou folhas são conectadas em cascata,
surgem.

Ao atravessar o diagrama a partir da raiz para a folha terminal de
valor 1, uma combinação de variáveis é determinada, para cuja combinação
25 a função é igual a 1, quer dizer uma combinação (um produto) de variáveis
que ocasiona a aparência do evento de referência reapresentado é recons-
truída. Consequentemente, ao realizar cada uma das passagens a partir da
raiz até cada uma das folhas terminais de valor 1, cada uma das combina-
ções de variáveis que ocasiona a aparência do evento de referência é de-
30 terminada.

A representação de uma função na forma de um diagrama de
decisão binária portanto torna possível se representar o conjunto de combi-

nações de variáveis de uma função Boolean em um modo extremamente completo e conciso. O espaço de memória ocupado pela referida representação é menor do que a tabela de verdade comumente usada de acordo com a técnica anterior. Ademais, os tempos de processamento para as funções reapresentadas na forma de um diagrama de decisão binária são mais baixos.

De acordo com uma primeira modalidade alternativa, a determinação da indicação 207 é o resultado de uma exploração do modelo comportamental 209 do tipo "geração de sequência" por meio de um modelo explorador.

Uma configuração global do modelo 209 é definida pelo conjunto de valores fixados para cada componente do modelo.

O princípio de gerar sequências consiste primeiro de tudo em criar um autômato para o qual cada estado representa a configuração global do modelo 209, e então em identificar a partir de um estado associado com o conjunto de observações (E_{obs}) as sequências de transições tornando possível lá se chegar (um exemplo deste tipo de algoritmo é gen-seq das tecnologias Arboost). Cada transição corresponde à ocorrência de um evento. Detalhes relativos à geração de diagramas podem ser encontrados no artigo "Assessment of Large Automatically Generated Fault Trees by means of Binary Decision Diagrams", J. Gauthier, X. Leduc e A. Rauzy, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Journal of Risk and Reliability Published by Professional Engineering Publishing ISSN 1748-006X Volume 221, número 2/2007 páginas 95-105.

De acordo com uma segunda modalidade alternativa, a determinação de indicações 207 é o resultado de uma conjugação das relações lógicas realizada por meio de um diagrama de decisão binária e compreendendo: a determinação de um primeiro diagrama de decisão binária $BBD_1, BBD_2, \dots, BBD_k$ para cada observação O'_1, O'_2, \dots, O'_k do conjunto de observações E_{obs} , a computação de um segundo diagrama de decisão binária BDD' por uma operação de conjunção no primeiro diagrama de decisão binária $BBD_1, BBD_2, \dots, BBD_k$ e a computação de um diagrama de decisão

binária de indicação pelo desenvolvimento do segundo diagrama de decisão binária (BDD').

De acordo com uma característica da segunda modalidade alternativa, o desenvolvimento do segundo diagrama de decisão binária BDD' é realizado ao realizar passagens do segundo diagrama de decisão binária BDD' a partir da raiz até cada uma das folhas terminais de valor 1, uma passagem correspondendo a uma combinação de eventos que suscitou o conjunto de observações (E_{obs}).

Por exemplo, considerando "Situação 1" o caso onde o componente 704, o observador, não recebe qualquer mensagem (fluxo saudável_702, saudável_703 e dados_perdidos_702 todos ausentes). Na ausência de recebimento de qualquer mensagem a partir do segundo componente 702 e do terceiro componente 703, o observador 704 está em uma situação não nominal, para a qual o mesmo está propenso a engatilhar um diagnóstico. Conseqüentemente, tão logo o tempo para a "construção da situação" seja suficiente (levando-se em consideração os vários tempos de confirmação de mensagem e os vários tempos de comunicação, e em geral, das regras de processamento para o aspecto temporal), a pesquisa pela causa pode ser realizada pelos meios 203 para a determinação de indicações 207.

A análise do modelo do sistema torna possível se criar o diagrama de decisão binária representando as configurações do modelo ocasionando a situação 1. A representação do referido diagrama de decisão binária relativa a situação 1 é encontrada na figura 8. As duas representações são equivalentes: o primeiro (A figura 8a) é "simples", a segunda é a forma reduzida (A figura 8b), seguindo os princípios delineados em [Bryant86].

Os trajetos a partir da raiz 701 para a folha 1 representam as configurações que ocasionam a situação 1. Estes são o casos:

1. componente 701 fora de serviço: ausência de fornecimento de energia, ou

2. componentes 702 e 703 fora de serviço

Neste exemplo, as indicações 207 determinadas com a ajuda de diagramas de decisão binária adotam a forma a seguir: (701.HS ou (702.HS

e 703.HS)).

No caso do mesmo exemplo, as indicações 207 determinadas de acordo com a primeira alternativa, por exploração do modelo e geração de sequência, adota a forma a seguir: (701.HS ou (702.HS então 703.HS) ou
5 (703.HS então 702.HS)).

É observado aqui que a diferença a partir das indicações 207 determinada com a ajuda de diagramas de decisão binária é que no caso de indicação de diversos eventos, existe uma ordem entre os eventos indicados. informação adicional está disponível: 702.HS então 703.HS significa
10 que 702 e 703 desenvolveram uma falha em uma determinada ordem.

O dispositivo de acordo com a presente invenção adicionalmente compreende meios 204 para a determinação das ações de manutenção com base nas indicações. Os referidos meios definem a ordem na qual o equipamento será examinado e/ou substituído por um operador de manutenção.
15 A referida classificação de ações de manutenção é realizada como uma função de critérios predefinidos de manutenção 208. A ordem do equipamento pode ser estabelecida, por exemplo, como uma função de suas probabilidades de falha, de seus custos de reparo, de seus tempos de reparo ou de uma combinação dos referidos critérios. O dispositivo de acordo com a presente invenção compreende meios de tela tornando possível indicar ao operador de manutenção quais itens de equipamento devem ser reparados ou trocados e a ordem na qual os referidos itens de equipamento devem ser reparados ou trocados.
20

Com base na informação associada com os vários estados da
25 indicação (probabilidades teóricas das perdas dos componentes 701, 702 e 703, estatísticas com base em feedback operacional sobre as perdas de 701, 702, 703, etc.) é possível se escolher uma das indicações como sendo a mais relevante no contexto atual e para lidar com a mesma.

Por exemplo, o dispositivo de acordo com a presente invenção é
30 parametrizado de modo a favorecer um reparo mais econômico. Se for considerado que o reparo do terceiro item de equipamento 703 e do segundo item de equipamento 702 é mais oneroso do que o reparo do primeiro item

de equipamento 701, então os meios de tela apresentarão uma indicação de acordo com a qual o operador deve primeiro reparar o primeiro item de equipamento 701 e então o segundo 702 e o terceiro 703.

De acordo com uma primeira modalidade alternativa da presente
5 invenção, o dispositivo para diagnóstico de sistema adicionalmente compreende um modelo explorador 402 que computa as relações lógicas (LR_1, LR_2, \dots, LR_k) associadas com as observações (O'_1, O'_2, \dots, O'_k) com base no modelo comportamental 209 do sistema, os meios 203 para a determinação das indicações (207) compreendendo meios para a conjunção das relações lógicas
10 (LR_1, LR_2, \dots, LR_k).

A figura 4.1 representa uma primeira modalidade alternativa do dispositivo de diagnóstico de acordo com a presente invenção. De acordo com a referida modalidade alternativa da presente invenção recorrendo às relações lógicas LR_i , a determinação das relações lógicas LR_1, LR_2, \dots, LR_k
15 é realizada com base em uma unidade de armazenamento 401 que associa uma relação lógica com cada observação. O dispositivo compreende um modelo editor 404 tornando possível gerar ou editar o modelo comportamental com base em uma descrição do sistema sob diagnóstico e de as observações.

Na referida alternativa, as relações lógicas contidas na unidade de armazenamento 401 são produzidas em terra, durante a fase de projeto ao utilizar o modelo comportamental 209 do sistema sob diagnóstico usando autômatos com base em restrição. O modelo comportamental 209 é utilizado em virtude de um modelo explorador 402. O modelo explorador produz as
25 referidas relações lógicas por meios de exploração do modelo comportamental 209. Exploração é entendida por significar: solicitação e extração da informação contida no modelo.

De acordo com uma segunda modalidade alternativa da presente invenção, os meios 203 para a determinação das indicações 207 compreendem um modelo explorador 402 permitindo a exploração direta do modelo comportamental 209 do sistema e a extração de eventos na forma de sequências. Os meios 203 para a determinação de indicações 207 estão a
30

bordo da aeronave. A determinação das indicações é realizada durante o voo.

A figura 4.2 representa uma segunda modalidade alternativa do dispositivo de diagnóstico de acordo com a presente invenção. De acordo com a referida alternativa, a pesquisa pela causa realizada pelo dispositivo 203 é produzida por meio de exploração dinâmica do modelo 209 durante o voo, sem envolver uma unidade de armazenamento 401 contendo as relações lógicas das observações. Pode ser observado que sob as referidas condições, o modelo 209 sendo oferecido a bordo, o último pode realizar a função, oferecida pelo modelo 206, de captar o estado atual, e o modelo pode assim ser dispensado.

De acordo com uma terceira modalidade alternativa da presente invenção, os meios 203 para a determinação das indicações 207 compreendem um modelo explorador 402 permitindo a exploração direta do modelo comportamental 209 do sistema e a extração de eventos em forma de sequência. Os meios 203 para a determinação de indicações 207 são situados em terra. A determinação das indicações 207 é realizada durante o voo.

A figura 4.3 representa uma terceira modalidade alternativa do dispositivo de diagnóstico de acordo com a presente invenção. De acordo com a referida alternativa, o conjunto de observações construído pelos meios dedicados 202 é enviado para terra, e o diagnóstico é realizado por utilização dinâmica do modelo comportamental 209 em terra por meio de um Buscador de Causa 203 realizando a função de "Modelo Explorador".

Um dispositivo de manutenção de acordo com a presente invenção compreende vários meios de computação que podem ser implementados em um ou mais computadores. Os referidos computadores são equipamentos do sistema sob diagnóstico ou equipamento de manutenção dedicada.

O sistema sob diagnóstico é um conjunto de unidades de processamento que colaboram uma com a outra para proporcionar um serviço. Uma unidade de processamento pode em si ser vista como um sistema e, portanto, como uma unidade de conjunto de processamento. Um sistema

pode portanto ser decomposto em um modo hierárquico ao sucessivamente considerar os conjuntos de unidades de processamento que constituem um sistema. Assim, um sistema sob diagnóstico pode ser considerado de acordo com vários níveis hierárquicos correspondendo os vários conjuntos de unidades de processamento.

O sistema sob diagnóstico compreende uma pluralidade de unidades de processamento. O mesmo é decomposto em vários níveis hierárquicos, que agrupam as referidas várias unidades de processamento, um primeiro nível hierárquico sendo referido por ser mais baixo do que o segundo nível quando o primeiro nível compreende unidades de processamento de componente das unidades de processamento do segundo nível.

Por exemplo, um aeroplano compreende unidades de processamento chamadas LRU equipamento, a abreviação representando a expressão "Line Replaceable Unit". Isto pode envolver equipamento eletrônico tal como piloto automático ou computadores de navegação. O referido equipamento consiste de unidades de processamento denominadas SRU (para Shop Replaceable Unit) situadas em um nível mais baixo na decomposição hierárquica do avião. As referidas unidades de processamento são, por exemplo, fornecimentos de energia, processadores ou interfaces de entrada/saída. Um primeiro nível hierárquico (por exemplo, SRU) é referido por ser mais baixo do que o segundo nível (por exemplo, LRU) quando o primeiro nível compreende unidades de processamento de componente das unidades de processamento do segundo nível.

O dispositivo de acordo com a presente invenção pode ser implementado em qualquer nível hierárquico de um sistema sob diagnóstico.

A figura 5 apresenta um exemplo de uma primeira modalidade de um sistema de diagnóstico de acordo com a presente invenção. A referida modalidade é referida por ser hierarquizada. No referido sistema de manutenção, um meio de computação do dispositivo de acordo com a presente invenção é implementado em três diferentes níveis hierárquicos do sistema 200. Um primeiro nível hierárquico 510 implementa meios 201 para o monitoramento. No exemplo o primeiro nível hierárquico 510 é o assim chamado

a nível de equipamento. O exemplo compreende quatro itens de equipamento 511,512,513,514 cada implementando meios para o monitoramento 511.1, 512.1, 513.1, 514.1.

O segundo nível 520, mais elevado do que o primeiro nível, implementa por um lado meios para a determinação de um conjunto de observações 202 com base nas mensagens que surgem a partir dos meios 201 para o monitoramento do primeiro nível e, por outro lado, meios para a determinação de indicações 203. A unidade de processamento do segundo nível 520 implementa meios para a determinação de um conjunto de observações 202 com observações que surgem a partir das unidades de processamento de nível mais baixo que a constituem. No exemplo, o segundo nível 520 é chamado de nível de subsistema. Uma primeira unidade de processamento 521 de nível de subsistema implementa meios para a determinação de um conjunto de observações 521.1 com base nas observações proporcionadas por uma função de monitoramento 511.1 para um primeiro item de equipamento 511 e por um função de monitoramento 512.1 para um segundo item de equipamento 512. A referida primeira unidade de processamento 521 também implementa meios para a determinação de indicações 521.2. uma segunda unidade de processamento 522 de nível de subsistema implementa meios para a determinação de um conjunto de observações 522.1 com base nas observações proporcionadas por uma função de monitoramento 513.1 para um terceiro item de equipamento 513 e por uma função de monitoramento 514.1 para um quatro item de equipamento 514. A referida segunda unidade de processamento 522 também implementa meios para a determinação de indicações 522.2.

Finalmente, um terceiro nível 530, mais elevado do que o segundo nível 520, implementa meios para a determinação de um conjunto de observações 202 com base nas indicações que surgem a partir do segundo nível, meios para a determinação de indicações 203 e meios para a determinação das ações de manutenção 204. No exemplo, o referido nível é chamado o nível do sistema. A unidade de processamento implementando os meios para a determinação das ações de manutenção 204 é, por exemplo,

um computador de manutenção a nível da aeronave.

A figura 6 apresenta um exemplo de uma segunda modalidade de um dispositivo para diagnóstico de acordo com a presente invenção. A referida modalidade é referida por ser centralizada. No referido sistema de manutenção, um meio de computação do dispositivo de acordo com a presente invenção é implementado em dois diferentes níveis hierárquicos do sistema 200.

Um primeiro nível implementa meios para o monitoramento e meios para a determinação de um conjunto de observações. No exemplo, o primeiro nível hierárquico 610 é o assim chamado nível de equipamento. O exemplo compreende quatro itens de equipamento 611, 612, 613, 614 cada um implementando meios para o monitoramento 611.1, 612.1, 613.1, 614.1 e meios para a determinação de um conjunto de observações 611.2, 612.2, 613.2, 614.2.

O segundo nível, mais elevado do que o primeiro nível, implementa meios para a determinação de um conjunto de observações 621.1 com base nos conjuntos de observações que surgem a partir do primeiro nível, meios para a determinação de indicações 621.2 e meios para a determinação das ações de manutenção 621.3. Os referidos meios são implementados em um segundo nível hierárquico 620 mais elevado do que o primeiro nível 610 e por uma única unidade de processamento 621.

A figura 9 apresenta um exemplo de uma terceira modalidade de um dispositivo de diagnóstico de acordo com a presente invenção. A referida modalidade é uma alternativa do assim chamado modo hierarquizado. No referido sistema de manutenção, um meio de computação do dispositivo de acordo com a presente invenção é implementado em três níveis hierárquicos, os primeiros dois dos quais permanece dentro do item de equipamento 91. O primeiro nível agrupa unidades de processamento do tipo Shop Replaceable Unit correspondendo a módulos eletrônicos internos a um item de equipamento e o segundo nível corresponde à aplicação de manutenção interna ao item de equipamento.

Um primeiro nível hierárquico 91 implementa meios 201 para o

monitoramento. No exemplo, o primeiro nível hierárquico 91 é um nível denominada SRU (Shop Replaceable Unit) e corresponde aos módulos eletrônicos internos a um item de equipamento. O exemplo compreende três SRUs 912, 913, 914 cada uma implementando meios para o monitoramento
5 912.1, 913.1, 914.1.

O segundo nível, ainda interno ao item de equipamento 91, implementa por um lado meios para a determinação de um conjunto de observações 202 com base nas mensagens que surgem a partir dos meios 201 para o monitoramento do primeiro nível e, por outro lado, meios para a de-
10 terminação de indicações 203. A unidade de processamento do segundo nível 911 implementa meios para a determinação de um conjunto de observações 202 com observações que surgem a partir das unidades de processamento de nível mais baixo que a constituem. No exemplo, o segundo nível 911 é o assim chamado aplicação de manutenção interna ao item de equi-
15 pamento. A unidade de processamento 911 implementa meios para a determinação de um conjunto de observações 911.1 com base nas observações proporcionadas por uma função de monitoramento 912.1, 913.1, 914.1. a referida unidade de processamento 911 também implementa meios para a determinação de indicações 911.2.

20 Finalmente, um terceiro nível 92, mais elevado do que o segundo nível 91, implementa meios para a determinação de indicações 203 e meios para a determinação das ações de manutenção 204. No exemplo, o referido nível é chamado o nível do sistema. A unidade de processamento implementando os meios para a determinação das ações de manutenção
25 921.3 é, por exemplo, um computador de manutenção a nível da aeronave.

REIVINDICAÇÕES

1. Dispositivo para diagnóstico de sistema (200) de uma aeronave compreendendo equipamento, o referido dispositivo compreendendo:

5 - meios (201) para o monitoramento do equipamento, os referidos meios emitindo mensagens de observações (O_1, O_2, \dots, O_n) com base nos efeitos produzidos pelo equipamento do sistema (200), o referido dispositivo sendo caracterizado pelo fato de que o mesmo adicionalmente compreende:

10 - meios (202) para a determinação de um conjunto de observações (E_{obs}) com base nas mensagens de observações (O_1, O_2, \dots, O_n) que surgem a partir dos meios (201) para o monitoramento, de um relatório (205) das mensagens de observações (O_1, O_2, \dots, O_n) e de um modelo (206) representando um estado atual do sistema, os referidos meios (202) para a determinação de um conjunto de observações (E_{obs}) implementando lógica temporal,

15 - meios (203) para a determinação de indicações (207) com base nas observações (O'_1, O'_2, \dots, O'_k) do conjunto de observações (E_{obs}) e de um modelo comportamental (209) do sistema, as indicações (207) sendo relações lógicas entre modos operacionais de equipamento dotado dos efeitos produzidos,

20 - meios (204) para a determinação de operações de manutenção com base nas indicações.

2. Dispositivo para diagnóstico de sistema de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que os meios (203) para a determinação das indicações (207) compreendem um modelo explorador (402) permitindo a exploração direta do modelo comportamental (209) do sistema e a extração de eventos na forma das sequencias.

3. Dispositivo para diagnóstico de sistema de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de que os meios (203) para a determinação de indicações (207) estão a bordo da aeronave, a determinação das indicações sendo realizada durante o voo.

4. Dispositivo para diagnóstico de sistema de acordo com a rei-

vindicação 2, caracterizado pelo fato de que os meios (203) para a determinação de indicações (207) são situados em terra, a determinação das indicações (207) sendo realizada durante o voo.

5 5. Dispositivo para diagnóstico de sistema de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o mesmo adicionalmente compreende um modelo explorador (402) que computa relações lógicas (LR_1, LR_2, \dots, LR_k) associadas com as observações (O'_1, O'_2, \dots, O'_k) com base no modelo comportamental (209) do sistema, os meios (203) para a determinação das indicações (207) compreendendo meios para a conjunção das relações lógicas (LR_1, LR_2, \dots, LR_k).

15 6. Dispositivo de diagnóstico de sistema de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelo fato de que a conjunção das relações lógicas (LR_1, LR_2, \dots, LR_k) é realizada por meios de um diagrama de decisão binária e compreende: a determinação de um primeiro diagrama de decisão binária (BBD1, BBD2, ..., BBDk) para cada observação (O'_1, O'_2, \dots, O'_k) do conjunto de observações (E_{obs}), a computação de um segundo diagrama de decisão binária (BDD') por uma operação de conjunção no primeiro diagramas de decisão binária (BBD1, BBD2, ..., BBDk) e a computação de um diagrama de decisão binária de indicação pelo desenvolvimento do segundo diagrama de decisão binária (BDD').

20 7. Dispositivo de diagnóstico de sistema de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de que um diagrama de decisão binária consiste de nodos, a partir dos quais duas ramificações surgem, e de folhas terminais conectadas juntas pelas ramificações, cada nodo representando
25 uma variável Boolean indicando a presença ou a ausência de um evento, uma ramificação sendo denominada "terminal" se a mesma termina em uma folha terminal de valor "0" ou "1", ou sendo denominada "intermediária" se a mesma termina no outro nodo, uma primeira ramificação representando o caso onde o evento reapresentado está ausente, e uma segunda ramificação representando o caso onde o evento reapresentado está presente, o
30 diagrama compreendendo um nodo de raiz única a partir do qual duas ramificações, às quais os nodos ou folhas são conectadas em cascata, surgem.

8. Dispositivo de diagnóstico de sistema de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de que o desenvolvimento do segundo diagrama de decisão binária (BDD') é realizado ao realizar passagens do segundo diagrama de decisão binária (BDD') a partir da raiz até cada uma das folhas terminais de valor 1, uma passagem correspondendo a uma combinação de eventos que ocasionaram o conjunto de observações (E_{obs}).

9. Dispositivo de diagnóstico de sistema de acordo com qualquer uma das reivindicações 6 a 8, caracterizado pelo fato de que a determinação das relações lógicas (LR_1, LR_2, \dots, LR_k) é realizada com base em uma unidade de armazenamento (401) que associa uma relação lógica com cada observação.

10. Dispositivo para diagnóstico de sistema de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 9, caracterizado pelo fato de que o modelo comportamental (209) compreende um componente para cada item de equipamento do sistema, um componente do modelo comportamental (209) compreendendo pelo menos: um fluxo de entrada, um fluxo de saída, um estado indicando a disponibilidade do item de equipamento e compreendendo: um modo de falha, indicando se o componente está com defeito ou saudável e um modo de operação indicando se o componente está ligado, desligado ou indisponível, e uma relação lógica entre o fluxo de entrada, o fluxo de saída e o estado por um lado, e o fluxo de saída por outro lado.

11. Dispositivo para diagnóstico de sistema de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 10, caracterizado pelo fato de que o sistema sob diagnóstico compreendendo uma pluralidade de unidades de processamento é decomposto em vários grupamentos de níveis hierárquicos junto com as referidas várias unidades de processamento, um primeiro nível hierárquico sendo referido por ser mais baixo do que o segundo nível quando o primeiro nível compreende unidades de processamento de componente das unidades de processamento do segundo nível.

12. Dispositivo para diagnóstico de sistema de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de que os meios de computação do dispositivo de acordo com a presente invenção são implementados em dois

diferentes níveis hierárquicos do sistema (200):

- um primeiro nível implementando meios para o monitoramento (611.1, 612.1, 613.1, 614.1) e meios para a determinação de um conjunto de observações (611.2, 612.2, 613.2, 614.2),

5 - o segundo nível, mais elevado do que o primeiro nível, implementando meios para a determinação de um conjunto de observações (621.1) com base nos conjuntos de observações que surgem a partir do primeiro nível, meios para a determinação de indicações (621.2) e meios para a determinação das ações de manutenção (621.3).

10 13. Dispositivo para diagnóstico de sistema de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de que os meios de computação do dispositivo de acordo com a presente invenção são implementados em três diferentes níveis hierárquicos do sistema (200):

- um primeiro nível hierárquico (510) implementando meios para
15 o monitoramento (511.1, 512.1, 513.1, 514.1),

- o segundo nível (520), mais elevado do que o primeiro nível (510), implementando por um lado meios para a determinação de um conjunto de observações (521.1, 522.1) com base nas mensagens que surgem a partir dos meios (201) para o monitoramento do primeiro nível e, por outro
20 lado, meios para a determinação de indicações (521.2, 522.2), e

- um terceiro nível (530), mais elevado do que o segundo nível (520), implementando meios para a determinação de um conjunto de observações (531.1) com base nas indicações que surgem a partir do segundo nível, meios para a determinação de indicações (531.2) e meios para a de-
25 terminação das ações de manutenção (531.3).

14. Dispositivo para diagnóstico de sistema de acordo com a reivindicação 13, caracterizado pelo fato de que o primeiro nível agrupa unidades de processamento do tipo Shop Replaceable Unit correspondendo a módulos eletrônicos internos a um item de equipamento e em que o segundo
30 nível corresponde à aplicação de manutenção interna ao item de equipamento.

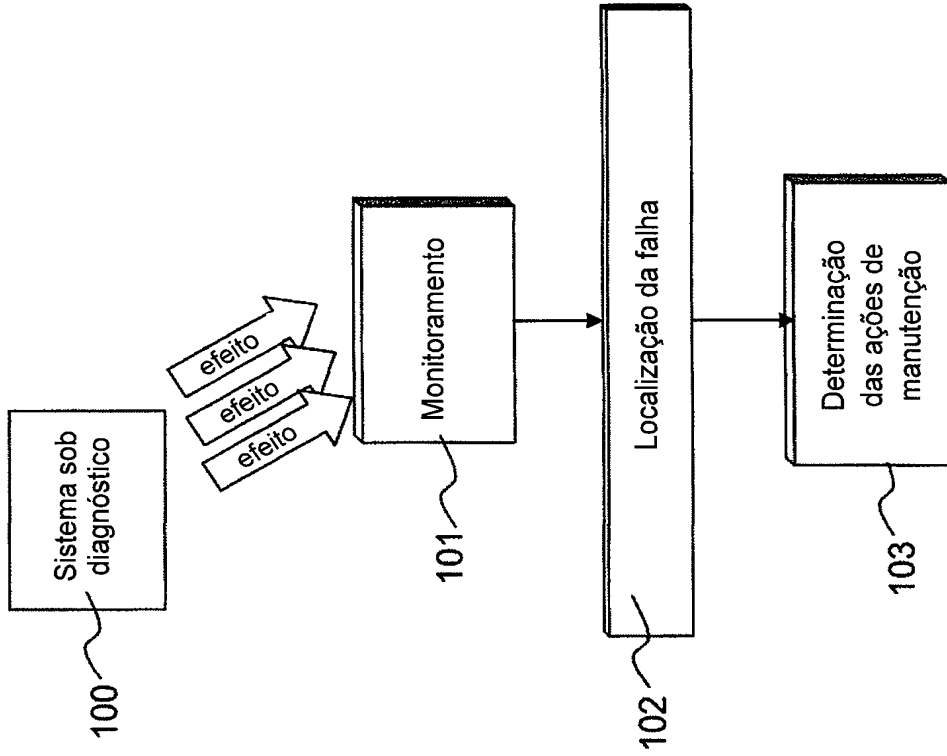


FIG.1

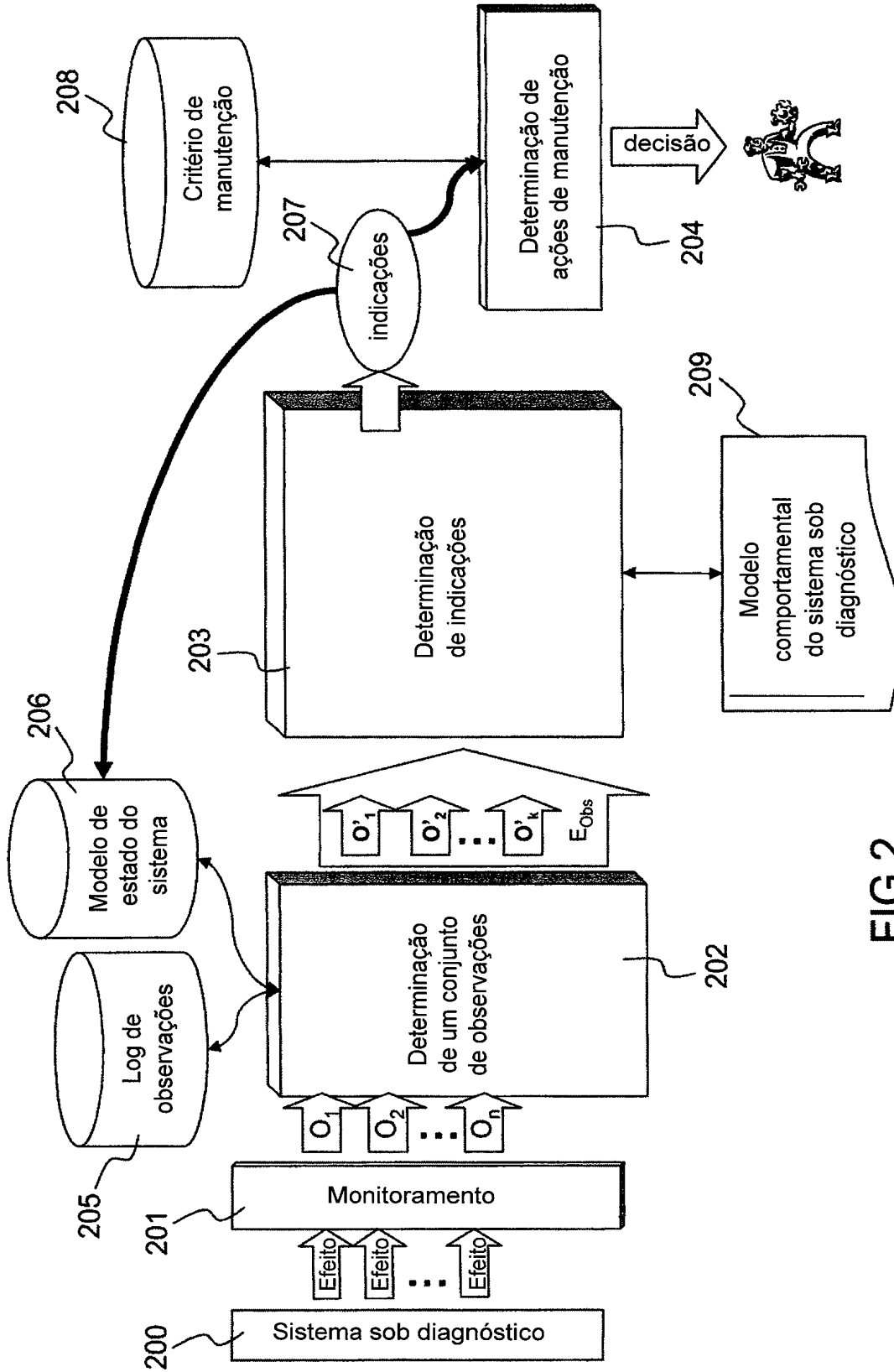


FIG.2

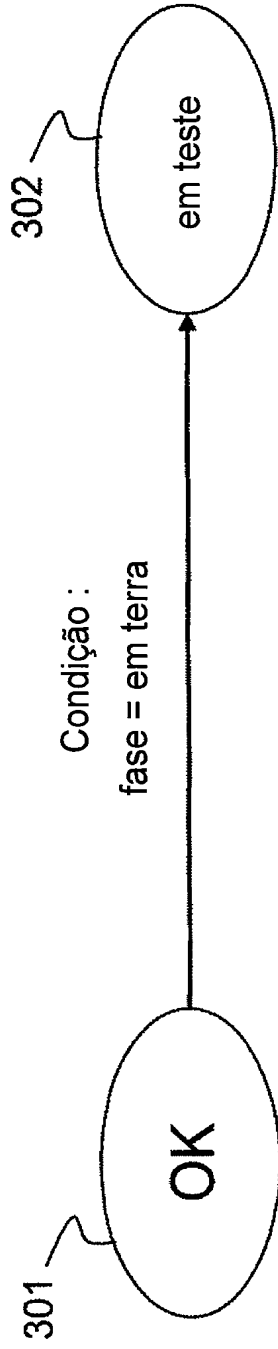


FIG.3

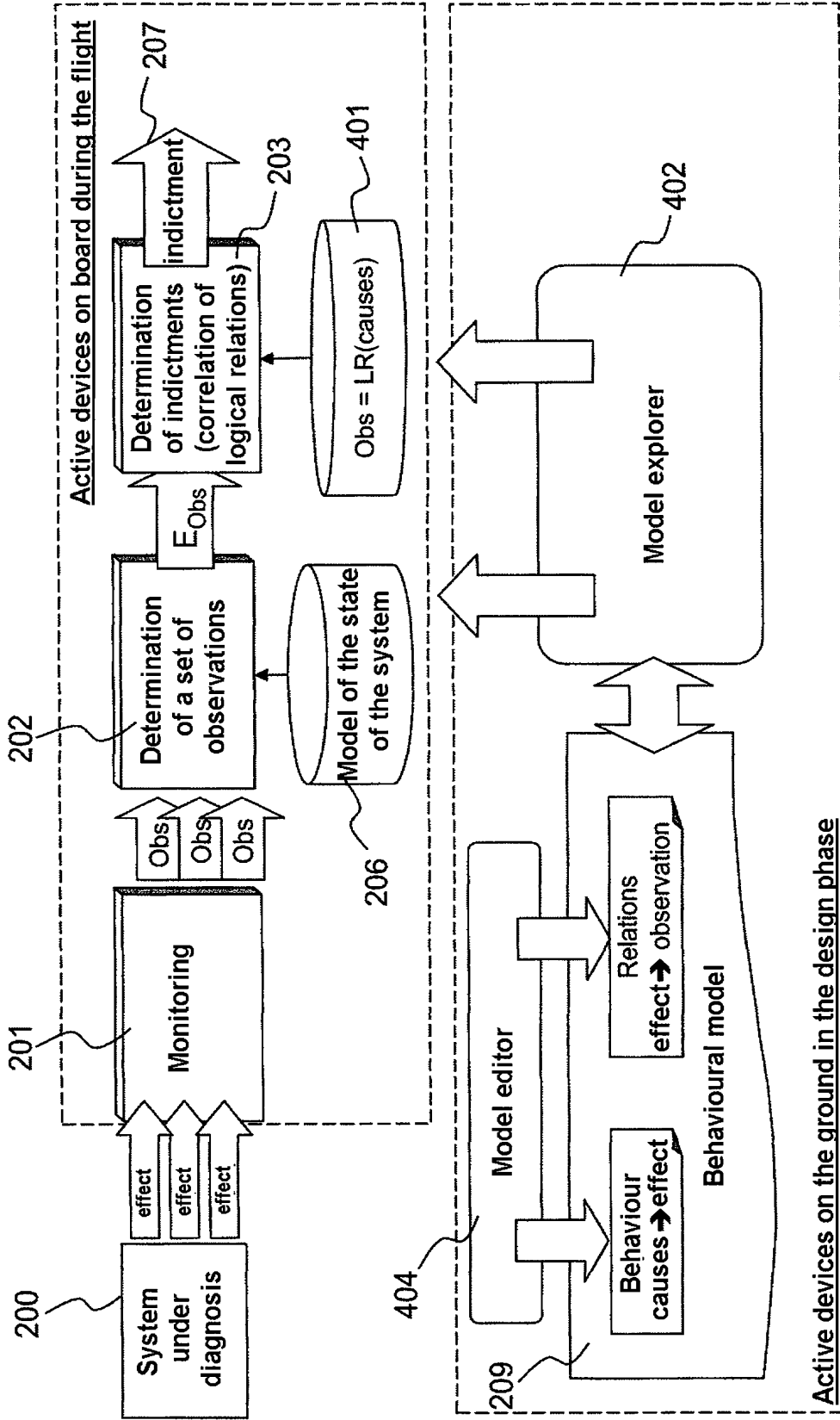


FIG.4.1

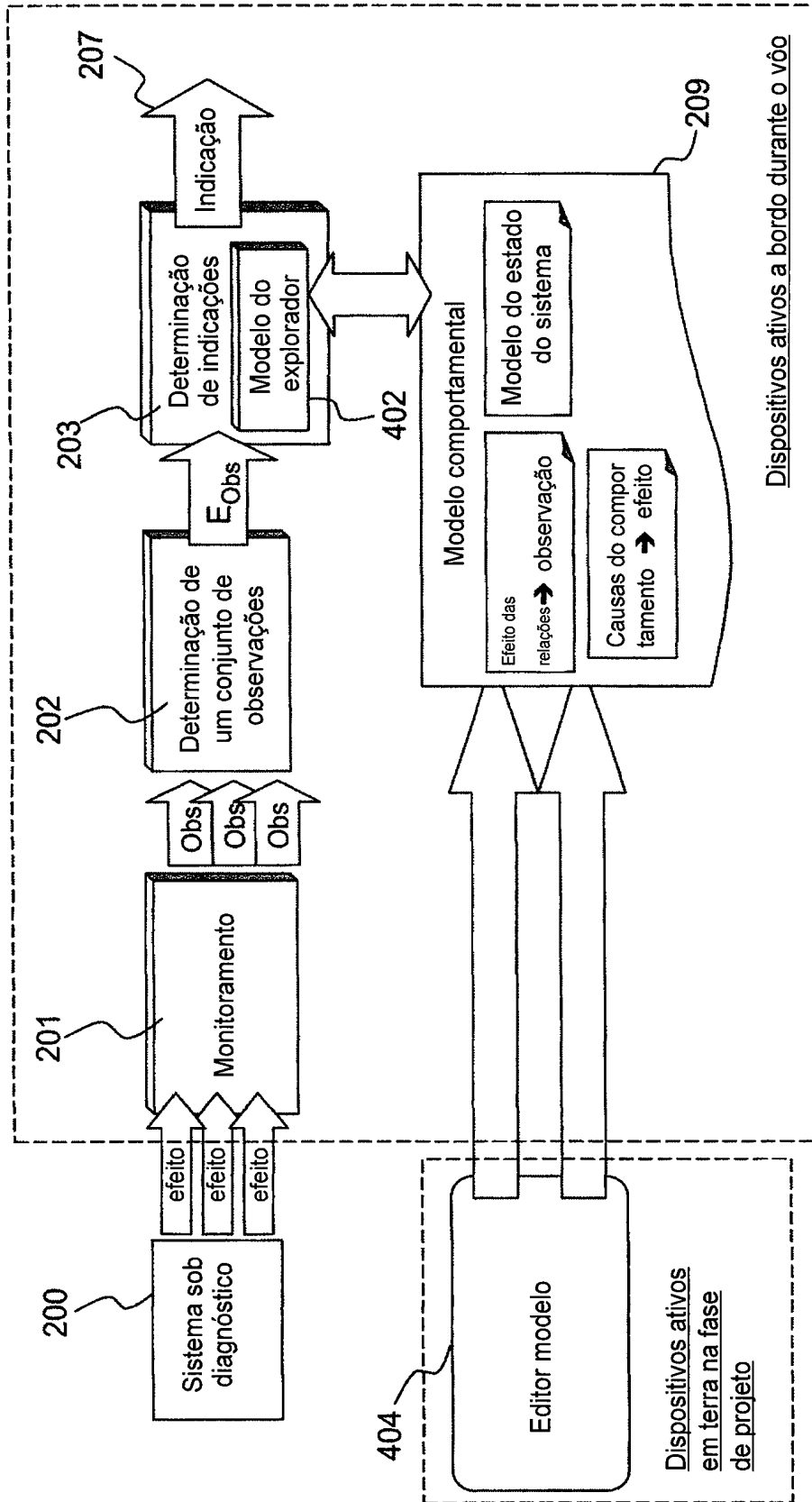


FIG.4.2

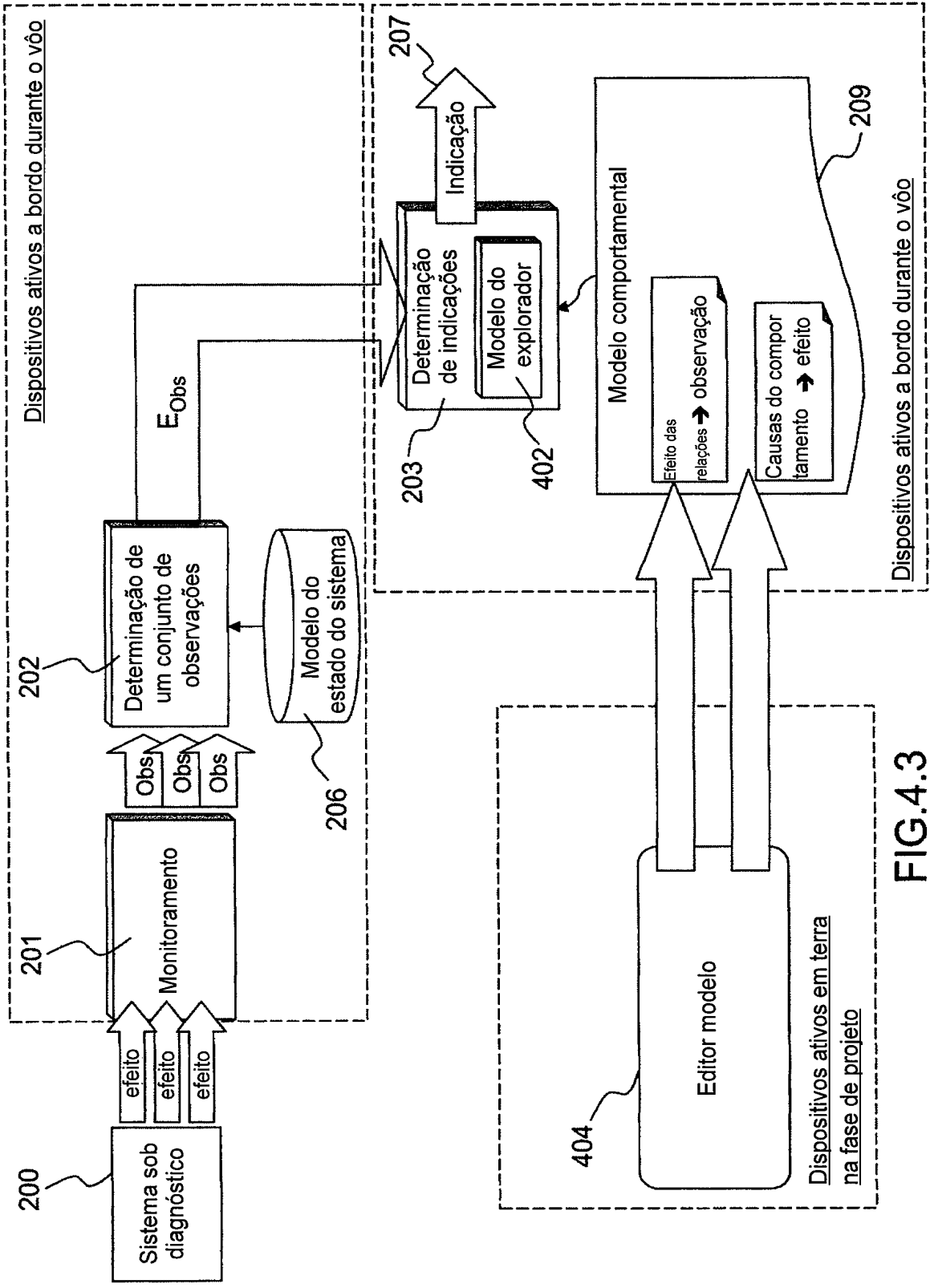


FIG.4.3

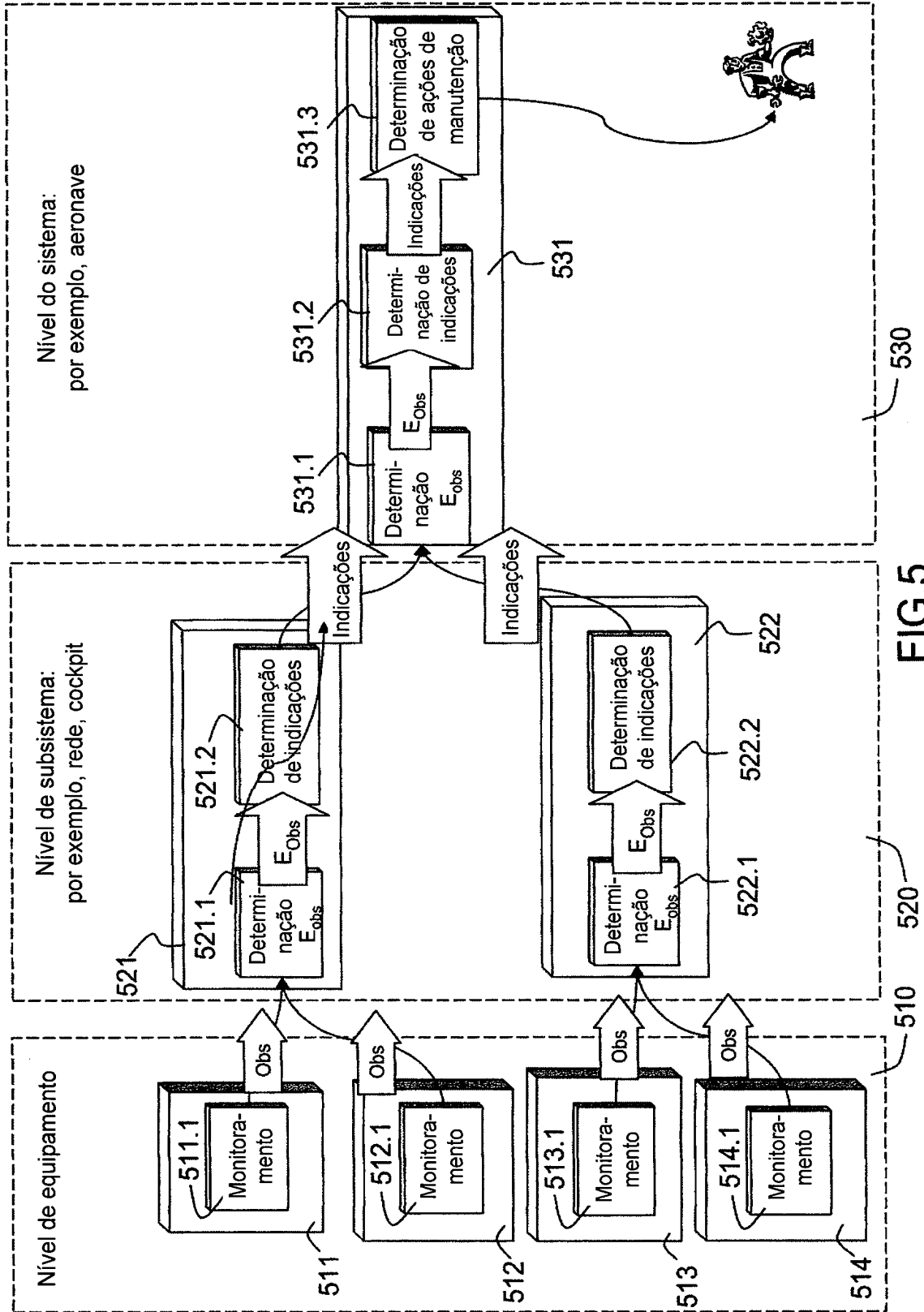


FIG.5

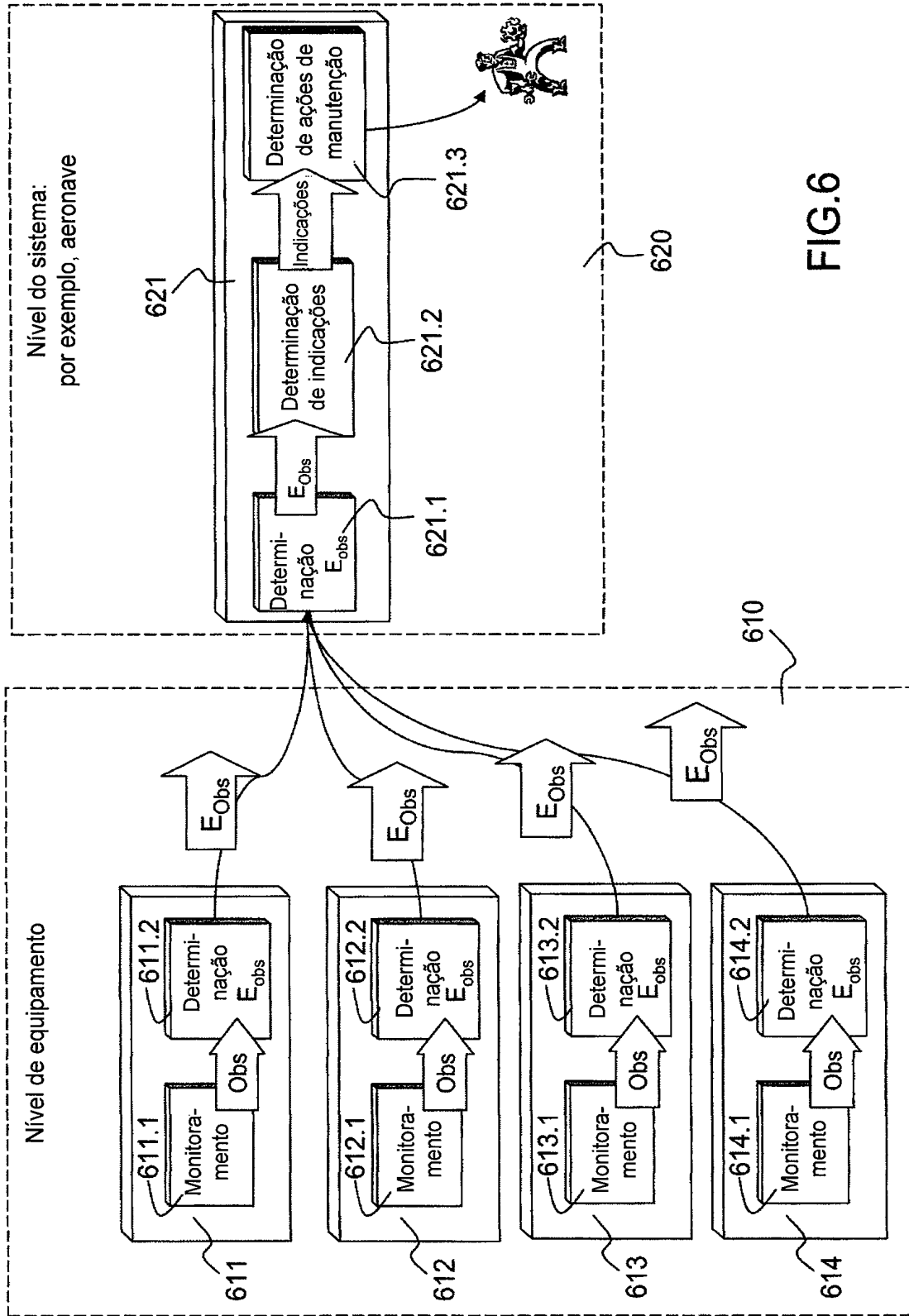


FIG.6

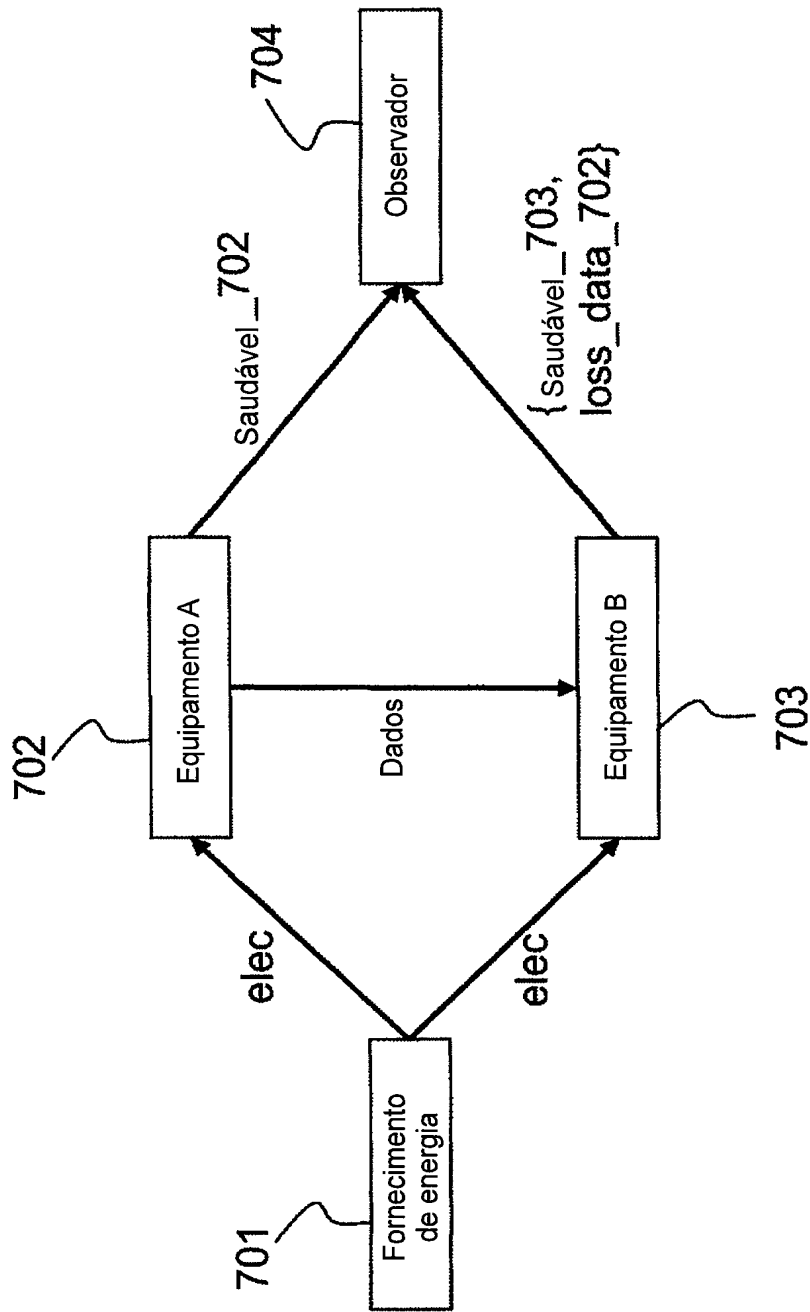


FIG.7

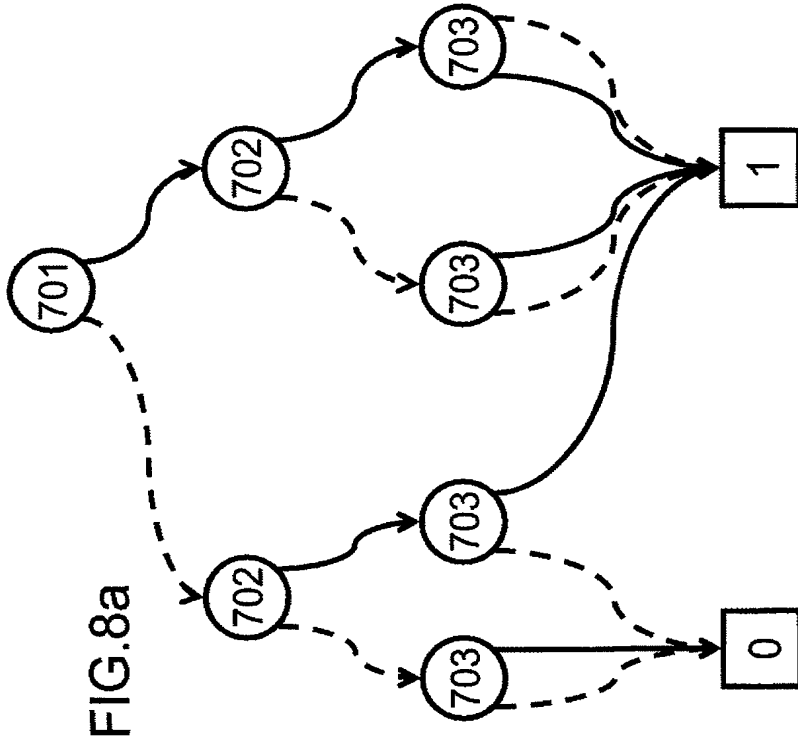
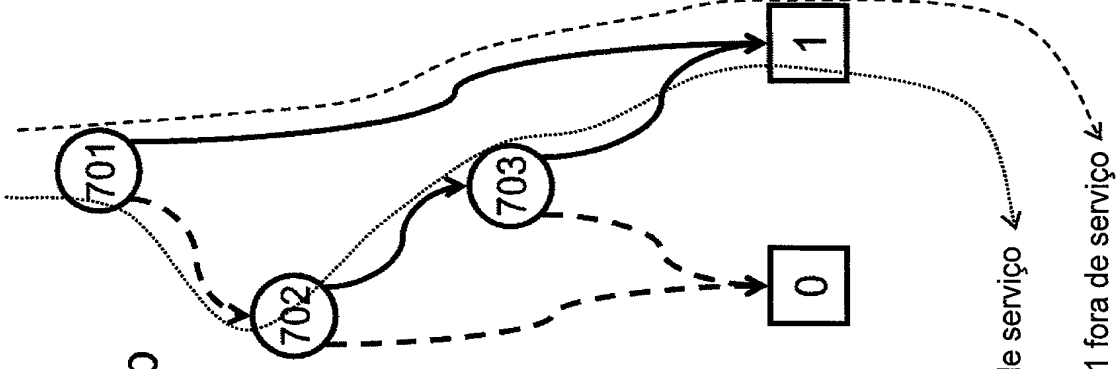


FIG.8b



Segunda alternativa para a condição de satisfação: 702 e 703 fora de serviço ←

Primeira alternativa para a condição de satisfação: 701 fora de serviço ←

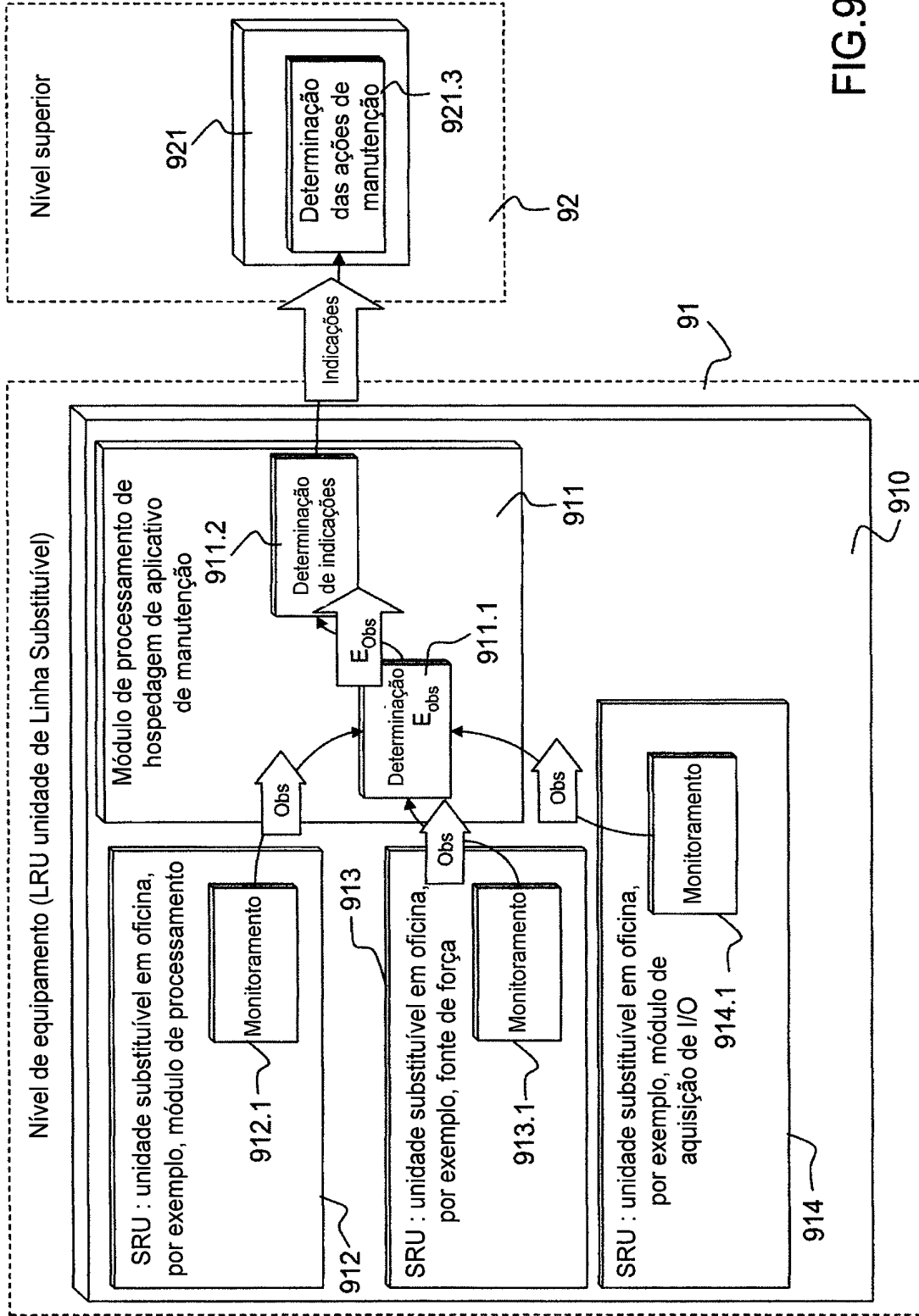


FIG.9

RESUMO

Patente de Invenção: **"DISPOSITIVO PARA DIAGNÓSTICO DE SISTEMA"**.

A presente invenção refere-se a um dispositivo para diagnóstico de sistema de uma aeronave compreendendo:

5 - meios para o monitoramento de equipamento do sistema, os referidos meios emitindo mensagens de observações com base nos efeitos produzidos pelo equipamento, o referido dispositivo sendo caracterizado pelo fato de que o mesmo adicionalmente compreende:

10 - meios para a determinação de um conjunto de observações com base nas mensagens de observações que surgem a partir do monitoramento, de um relatório das mensagens de observações e de um modelo representando um estado atual do sistema,

15 - meios para a determinação de indicações com base nas observações do conjunto de observações e de um modelo comportamental do sistema, as indicações sendo relações lógicas entre modos operacionais de equipamento dotado de efeitos produzidos,

 - meios para a determinação de operações de manutenção com base nas indicações.