



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 0905485-5 B1



(22) Data do Depósito: 23/12/2009

(45) Data de Concessão: 23/07/2019

(54) Título: PROCESSO E SISTEMA PARA MONITORAMENTO DO DESEMPENHO E PROGNÓSTICOS PARA VÁLVULAS DE CONTROLE PNEUMÁTICAS DE AERONAVES

(51) Int.Cl.: F16K 31/02; G01L 27/00.

(30) Prioridade Unionista: 23/12/2008 US 61/140,357.

(73) Titular(es): EMBRAER S.A..

(72) Inventor(es): TIAGO MORAES DO AMARAL; LUCAS CAMPOS PUTTINI.

(57) Resumo: MONITORAMENTO DO DESEMPENHO E PROGNÓSTICOS PARA VÁLVULAS DE CONTROLE PNEUMÁTICAS DE AERONAVES. Descreve-se um processo que estima o estado de saúde de uma válvula de controle pneumática de uma aeronave através de medições indiretas a partir dos sensores disponíveis. As medições vindas de válvulas idênticas, operando nas mesmas condições, são comparadas. Os resíduos são convertidos em estimativas do estado de degradação de cada válvula. O histórico dos estados de degradação pode ser usado para prever o tempo esperado para uma falha.

**"PROCESSO E SISTEMA PARA MONITORAMENTO DO
DESEMPENHO E PROGNÓSTICOS PARA VÁLVULAS DE CONTROLE PNEUMÁTICAS DE
AERONAVES"**

REFERÊNCIAS CRUZADAS PARA PEDIDOS RELACIONADOS

5 Este pedido está relacionado ao Pedido de Patente
nº U.S. _____ depositado em _____, intitulado
"Prognósticos e Monitoramento de Saúde Para Sistemas e Componentes
Eletro-Mecânicos" (etiqueta do procurador 4439-79).

DECLARAÇÃO SOBRE PESQUISA OU DESENVOLVIMENTO SOB PATROCÍNIO FEDERAL

10 **Campo da Invenção**

A tecnologia aqui diz respeito a testes locais de equipamentos eletrônicos durante a operação, e mais particularmente ao uso de medições indiretas para estimar o estado de saúde de uma válvula de controle pneumática de uma aeronave.

15 **Fundamentos e Sumário da Invenção**

A maioria das válvulas que uma pessoa vê em média, na vida cotidiana, é operada manualmente. Por exemplo, a torneira da sua pia de cozinha é controlada por uma válvula de água. Movendo-se a manopla, abre-se a válvula para impedir o fluxo de
20 água. Diferentes válvulas podem ser utilizadas para controlar diferentes fluxos de água. Por exemplo, uma válvula de água quente pode controlar o fluxo de água quente, e uma válvula de água fria pode controlar o fluxo de água fria.

Uma aeronave moderna faz um amplo uso de válvulas.
25 Essas válvulas podem ser empregadas para regular variáveis de processo, tais como o fluxo de um fluido, temperatura, e outros. Normalmente, porém, em vez de ser acionada manualmente, as válvulas são controladas eletricamente. Muitas vezes, válvulas pneumáticas são conectadas em sistemas de controle de circuito fechado. De modo
30 geral, em um circuito fechado pneumático moderno, um sensor de fluxo de fluido ou outro sensor a jusante da válvula pneumática monitora algum tipo de característica do fluxo de fluido que a válvula controla. As características monitoradas são realimentadas em um microprocessador ou outro circuito que é usado para controlar
35 eletricamente a abertura da válvula. Um controle muito preciso dos

parâmetros de processo pode ser alcançado utilizando tais modernos circuitos de controle pneumático.

A degradação e falha de válvulas pode ser um problema significativo em diversas aplicações, tais como em aviões e na indústria, que dependem do bom funcionamento dos sistemas de controle de valores pneumáticos. Portanto, é geralmente desejável ter a capacidade de monitorar automaticamente a saúde dos sistemas de controle de válvulas pneumáticas. Isso pode ser especialmente útil em aeronaves e outros contextos, onde não é sempre conveniente a inspeção da operação da válvula (por exemplo, durante o voo). Um funcionamento anormal pode indicar, por exemplo, que uma degradação significativa está ocorrendo na válvula, o que pode levar a uma falha funcional no futuro. Os mecanismos de falha ou degradação podem ser, entre outros, por exemplo, níveis de atrito anormais, levando a um desgaste excessivo entre as peças móveis; entupimento dos tubos de ar devido à deposição de contaminantes; fadiga mecânica e ruptura; vazamento descontrolado de ar em pontos que são submetidos a pressões diferentes; e outros fenômenos.

Sensores dentro das válvulas e ao longo do processo de controle podem fornecer medições que são úteis não só para a malha de controle de processo, mas também para identificar um funcionamento anormal e realizar o monitoramento da saúde da válvula. Além de medições de variáveis de processo, um controlador de sistema pode fazer uso de sensores específicos para medir os estados internos de válvulas, tais como pressões internas e posições do atuador. Os sensores internos dedicados à função específica de monitoramento de saúde de válvulas pneumáticas e suas malhas de controle associadas podem ser utilizados para permitir uma detecção mais precisa e um isolamento dos modos de falha dos componentes internos da válvula. Embora muitas das novas válvulas pneumáticas já incluam esses sensores internos, as válvulas de projeto mais antigo, que podem ser instaladas em campo, muitas vezes não os incluem. Esses sensores internos estão, portanto, raramente presentes nos projetos, devido a limitações funcionais, restrições de custo, ou outros fatores.

As medições dentro do processo de controle também podem ser afetadas pela operação anormal da válvula. Assim, tais medições podem ser utilizadas para fornecer indicações indiretas da saúde da válvula. No entanto, medições indiretas não necessariamente podem permitir que o modo de falha raiz seja isolado, e estão mais sujeitas a interferências externas que podem mascarar os efeitos da degradação. A título de simples ilustração, uma diminuição no fluxo de água na extremidade de uma mangueira de jardim pode ser atribuída ao desgaste da válvula de água, mas também poderia ser atribuída à diminuição na pressão da água ou a uma torção na mangueira.

A matemática complexa e a modelagem de sistema dinâmico têm sido usadas para estimar analiticamente estados de válvulas, de controladores e de processo. Os estados iniciais desses componentes, entradas do sistema e distúrbios são registrados e enviados a um processador, que cria um modelo dinâmico de como o sistema deverá funcionar. As diferenças entre o estado real do sistema e o estado esperado do modelo podem ser analisados e traduzidos em estimativas de saúde da válvula. A propagação de falhas adicionais e os modelos de evolução da degradação fornecem uma maneira de descobrir os efeitos de modos de falha e identificar os modos de falha em um sistema defeituoso. Uma desvantagem desta abordagem é que os modelos podem não caracterizar adequadamente o sistema, porque eles não são completos, devido à imprecisão ou desvios aleatórios dos parâmetros dos sistemas reais daqueles dos modelados. Uma desvantagem adicional é que a abordagem da modelagem é complexa. Algo tão complexo pode introduzir seus próprios erros, que podem ser confundidos com erros do sistema. É possível que um sistema de diagnóstico deficiente indique uma falha quando não há uma. Assim, enquanto tal modelagem é útil, esta abordagem tem limitações. Outras melhorias são possíveis e desejáveis.

A tecnologia exemplificativa, ilustrativa e não-limitativa utiliza aqui outra abordagem para o diagnóstico de problemas: a comparação de sinais e outros parâmetros de dois processos idênticos ou semelhantes operando sob as mesmas ou similares condições. Se sistemas idênticos plurais estão sujeitos

às mesmas condições ambientais e operacionais, pode-se esperar que seus estados medidos sejam muito semelhantes. As diferenças observadas nos estados medidos podem ser associadas com a degradação que ocorre em um dos sistemas. A experiência mostra que é relativamente ou extremamente improvável que ambos os sistemas apresentem degradações funcionais significativas ao mesmo tempo. Assim, essas diferenças podem ser utilizadas para identificar um sistema degradado e estimar a sua saúde.

De acordo com um aspecto das formas de incorporação exemplificativas, ilustrativas e não-limitativas aqui apresentadas, as medições de válvulas idênticas operando em condições iguais ou similares são comparadas. As diferenças são traduzidas em estimativas do estado de degradação da válvula individual. Históricos de estados de degradação podem ser usados para prever o tempo esperado para a falha. Uma forma de incorporação exemplificativa, ilustrativa e não-limitativa para avaliar a saúde de um sistema controlado por válvulas pneumáticas a bordo de uma aeronave compreende monitorar o estado de um primeiro processo controlado por uma primeira válvula pneumática; monitorar o estado de um segundo processo controlado por uma segunda válvula pneumática; comparar o estado monitorado do primeiro processo com o estado monitorado do segundo processo, para derivar pelo menos um resultado da comparação; e apurar pelo menos um parâmetro associado com a saúde de pelo menos uma primeira válvula pneumática e de uma segunda válvula pneumática, em resposta, pelo menos em parte, ao dito resultado da comparação.

Breve Descrição dos Desenhos

Estas e outras características e vantagens serão melhor e mais completamente entendidas com referência à seguinte descrição detalhada de formas de incorporação exemplificativas, ilustrativas e não-limitativas, em conjunto com os desenhos, nos quais:

A figura 1 ilustra esquematicamente um sistema de controle de válvula pneumática exemplificativo, ilustrativo e não-limitativo, de malha fechada, do estado da técnica anterior;

A figura 2 ilustra graficamente um algoritmo exemplificativo não-limitativo para determinar os índices de degradação da válvula;

As figuras 3A e 3B mostram operadores de avaliação de comparação exemplificativos, ilustrativos e não-limitativos;

A figura 4 é um fluxograma de um algoritmo exemplificativo, ilustrativo e não-limitativo para prever falha;

As figuras 5A e 5B mostram um histórico de medições exemplificativas ilustrativas de um sistema controlado por válvula;

As figuras 6A e 6B mostram comparações exemplificativas, ilustrativas e não-limitativas entre duas operações do sistema controlado por válvula;

As figuras 7A e 7B mostram resultados gráficos exemplificativos, ilustrativos e não-limitativos de análises de degradação de válvula;

A figura 8 mostra uma técnica para enviar os resultados da comparação para sistemas terrestres;

As figuras 9 e 10 mostram algoritmos exemplificativos, ilustrativos e não-limitativos para manter as informações de medição e alertar os pilotos e a equipe de manutenção sobre problemas; e

A figura 11 mostra um indicador visual exemplificativo, ilustrativo e não-limitativo.

Descrição Detalhada

A figura 1 mostra um sistema de controle de processo de malha fechada 100 exemplificativo, ilustrativo e não-limitativo, realizando um processo controlado por uma válvula pneumática 101. A válvula de controle 101 modula a restrição do fluxo de ar proveniente de ar comprimido ou outra fonte 102. O estado de abertura da válvula 101 determina a quantidade de ar comprimido a ser fornecido para um processo a ser controlado.

Sensores 104, 105, 106 a jusante medem parâmetros associados com o fluxo de ar comprimido sendo distribuído para o processo a ser controlado. Por exemplo, um sensor 104 pode medir a taxa de fluxo; um sensor 105 pode medir a pressão do ar a jusante;

e um sensor 106 pode medir a temperatura do ar a jusante. As saídas dos sensores 104, 105, 106 são fornecidas a um controlador eletrônico 107. O controlador 107 toma as leituras destes sensores e aplica um algoritmo de controle. O algoritmo de controle pode envolver uma ou mais leis de controle e reagir a um sinal ou valor de referência externa 108, uma programação, ou algo semelhante. O controlador 107 produz uma saída de um sinal de controle de resposta, para controlar o estado de abertura da válvula pneumática 101.

O estado do processo a ser controlado geralmente não é determinado apenas pela posição da válvula pneumática 101. De modo geral, as cargas, mudanças internas do sistema e perturbações externas podem todas afetar em algum grau o estado do processo controlado. Mesmo que o controlador eletrônico 107 possa trabalhar no contexto da malha de controle para minimizar as diferenças entre os estados real e de referência, o processo pode, entretanto, desviar-se da operação desejada devido a tais perturbações e efeitos externos.

De um modo geral, os erros podem ser mais visíveis durante transientes, que podem acontecer devido a uma mudança súbita ou qualquer outra alteração (por exemplo, um degrau) no estado ou condição de referência do sistema. Durante esses transientes, as partes de atuação e controle devem responder às mudanças, mas podem operar fora de suas faixas de funcionamento típicas e confortáveis. É durante tal operação transitória que as respostas podem ser drasticamente afetadas por falhas iminentes de elementos como a válvula pneumática 101. Portanto, essas condições transientes proporcionam boas oportunidades para efetuar medições em instantes em que os efeitos transitórios estão visíveis e podem ser repetidos, tal como em um teste padronizado ou em resposta a um degrau.

As medições realizadas pelos sensores 104, 105, 106 dentro da válvula pneumática 101 podem fornecer informações complementares na forma de estimativas diretas da condição interna da válvula. No entanto, também é possível estimar a condição da válvula indiretamente através de variáveis de processo disponíveis. Além disso, de acordo com uma forma de incorporação

exemplificativa, ilustrativa e não-limitativa aqui apresentada, as variáveis de processo associadas com duas ou mais válvulas pneumáticas 101 semelhantes podem ser monitoradas. Os parâmetros de processo associados com tais válvulas pneumáticas 101 plurais são comparados, para diagnosticar e prognosticar as falhas pretendidas.

Uma característica adicional desejada do sistema é que as perturbações não relacionadas com a degradação das válvulas pneumáticas 101, tais como aquelas provenientes do suprimento de ar ou condições ambientais, tendem a influenciar da mesma forma todas as válvulas monitoradas. Os resíduos e resultados da comparação são geralmente mais robustos a perturbações dominadas por componentes de modo comum. Frequentemente, este é o caso das válvulas pneumáticas 101 de aeronaves, que podem ser empregadas em arranjos simétricos ou redundantes na mesma aeronave ou em diferentes aeronaves.

A figura 2 mostra algoritmos exemplificativos, ilustrativos e não-limitativos para traduzir as medições dos sensores em índices de degradação da válvula. Na forma de incorporação exemplificativa, não-limitativa e ilustrativa mostrada, as medições de estado x_{ij} (201) (sensor $j \in \{1, 2, \dots, m\}$ do processo $i \in \{1, 2, \dots, n\}$) são comparadas e avaliadas no bloco 202 para gerar resíduos ou resultados de comparação. Cada sensor j mede um estado físico, incluído mas não limitado a, por exemplo, temperatura, pressão, vazão ou qualquer outro estado capaz de ser medido. Cada processo i sob teste fornece tais medições de estado físico. Como será explicado abaixo, resíduos ou resultados da comparação exemplificativos ilustrativos são obtidos a partir da comparação das medições de sensores do mesmo tipo ou similares instalados em posições idênticas ou semelhantes.

As figuras 3A e 3B mostram exemplos do bloco de avaliação de resíduos 202. Como pode ser visto, o bloco de avaliação de resíduos 202 pode comparar medições de processo contra valores de referência, o que por sua vez pode ser baseado em medições de outros processos. Os distúrbios de modo comum, que afetam igualmente todos os processos e geralmente não são relativos as falhas dos precursores nas válvulas 101, podem ser

removidos usando-se operações relativamente simples. Os resíduos resultantes das comparações são, portanto, livres de componentes de modo comum e estão mais diretamente relacionados com a condição da válvula.

5 A figura 3A mostra um exemplo onde duas operações da válvula estão sendo monitoradas e comparadas. Esta situação pode ser aplicada (a) à operação de duas válvulas diferentes que são monitoradas simultaneamente; (b) à operação da mesma válvula monitorada em momentos diferentes (por exemplo, antes e agora, ou
10 no instante T1 e no instante T2 posterior a T1); e/ou (c) à operação de duas válvulas diferentes monitoradas em momentos diferentes (por exemplo, um histórico de informações de monitoramento de uma primeira válvula em um primeiro avião, e um histórico de informações de monitoramento de uma segunda válvula
15 em um segundo avião diferente).

Neste caso, os resíduos r_{1j} , r_{2j} (303) são calculados pelos operadores de diferença 302, que determinam as diferenças entre as medições x_{1j} , x_{2j} (301) dos dois processos. As seguintes fórmulas exemplificativas podem ser aplicadas:

$$r_{1j} = x_{1j} - x_{2j} \quad (1)$$

$$r_{2j} = x_{2j} - x_{1j} \quad (2)$$

20 Quando as operações de mais de duas válvulas 101 são monitoradas ou analisadas, os resíduos r_{ij} (308) mostrados na figura 3B podem ser extraídos ou derivados das diferenças (307) entre as medições x_{ij} (304) e um valor de referência x_{ref} , (306), de acordo com uma fórmula:

$$r_{ij} = x_{ij} - x_{ref,j} \quad (3)$$

25 Os valores de referência $x_{ref,j}$ podem depender das medições x_{2j} ..., x_{nj} , e podem ser gerados a partir de uma média, uma mediana, outro algoritmo ou método estatístico (305).

Os resíduos r_{ij} (203) resultantes das comparações muitas vezes apresentam um grau significativo de correlação. Por
30 exemplo, uma queda de pressão pode geralmente ser associada com uma queda de temperatura.

Na forma de incorporação exemplificativa, ilustrativa e não-limitativa, a etapa de extração de componente principal (204) converte os resíduos r_{ij} em um único componente y_i

(205) para cada válvula pneumática 101 sob teste. Uma fórmula matemática exemplificativa, ilustrativa e não-limitativa é usada para traduzir r_{ij} em y_i . Esta fórmula matemática pode ser baseada, por exemplo, em um modelo teórico, uma análise estatística tal como ACP (análise de componente principal), ou qualquer outro modelo ou análise conforme conhecido por aqueles com habilidade na arte. O componente y_i selecionado deve desejavelmente ser calculado de forma a portar a informação desejada relacionada com a degradação de uma válvula 101. Se o processo tem somente um estado de medição disponível, apenas um resíduo pode ser calculado e a extração de componente principal 204 pode não ser necessária.

Na forma de incorporação exemplificativa, ilustrativa e não-limitativa, o componente principal y_i associado com a válvula 101 é convertido (no bloco 206) em um índice de degradação d_i (207) da válvula. Esta conversão pode ser realizada de acordo com uma função matemática $d = f(y)$ para prover uma estimativa de saúde. A função usada para traduzir os componentes principais y_i em um índice de degradação d_i da válvula pode ser baseada em um modelo físico, ou pode ser inteiramente criada usando resultados empíricos, ou uma combinação destas e de outras funções. A função matemática utilizada para o bloco 206 pode ser selecionada para destilar em um único valor d_i um indicador bom e confiável da degradação da válvula.

A figura 4 mostra um método exemplificativo, ilustrativo e não-limitativo para criar a função de degradação usando o histórico de medições que antecederam os eventos de falha. A primeira etapa (401) é a de adquirir as medições em função do tempo, $x_{ij}(t_k)$. A próxima etapa é a de extrair ou derivar os resíduos ou resultados da comparação de $x_{ij}(t_k)$ e dos componentes principais $y_i(t_k)$ (bloco 402) de uma única válvula, de acordo com as etapas descritas acima.

A instância $t_{F,i}(t_k)$ da próxima falha pode ser conhecida de antemão ou identificada (bloco 403) a partir do histórico de dados.

Um tempo-para-próxima-falha normalizado $t_{N,i}(t_k)$ pode ser derivado (bloco 404) a partir dos tempos de falha, da seguinte forma:

$$t_{N,i}(t_k) = t_k - t_{F,i}(t_k) \quad (4)$$

Este tempo para falha é usado para estimar a degradação (405) como uma função do tempo, $d_i(t_k) = d(t_{N,i}(t_k))$. É suposto que a válvula esteja totalmente degradada ($d_i(t_k) = 1$ quando $t_k = t_{F,i}(t_k)$) quando há falha, e não degradada até o tempo t_0 quando uma alteração é observada (associada com o aparecimento de uma falha, ou falha incipiente) nos componentes principais extraídos. O critério para escolher este tempo t_0 pode ser baseado em uma análise estatística de $y_i(t_k)$ ou em outro algoritmo. Entre os instantes $t_{N,i}(t_k) = t_0$ e $t_{N,i}(t_k) = 0$, a degradação $d_i(t_k)$ é interpolada linearmente de 0 a 1.

Tendo a degradação estimada $d_i(t_k)$ e os componentes principais extraídos $y_i(t_k)$ de várias válvulas precedendo diversos eventos de histórico de falhas na mesma aeronave ou em uma aeronave diferente, uma técnica de ajuste de curva (406) pode ser aplicada para modelar a degradação como uma função dos componentes principais: $d_i(t_k) = f(y_i(t_k))$. O formato geral de f pode ser linear, polinômico, exponencial, logarítmico ou quaisquer outras funções adequadas para o mecanismo de falha que ocorre, tanto quanto ele aumente ou diminua monotonicamente. Esta função pode então ser usada para calcular a degradação da válvula na etapa final (206) da figura 2.

A figura 5, a figura 6 e a figura 7 ilustram os sinais exemplificativos de um sistema de monitoramento da condição de duas válvulas pneumáticas, das quais são medidas a temperatura e a pressão. Na figura 5, a temperatura x_{11} (501) e a pressão x_{12} (502) da válvula 1, e a temperatura x_{21} (503) e a pressão x_{22} (504) da válvula 2 estão representadas como uma função do tempo. Nesse exemplo, quatro eventos de falha acontecem para a válvula 1; a válvula 2 está totalmente saudável durante os eventos. A figura 6 mostra os resíduos de temperatura r_{11} (601) e pressão r_{12} (602) da válvula 1; eles são visivelmente menos afetados pelos indesejados distúrbios de modo comum do que as medições brutas, ainda mantendo as informações necessárias relacionadas com a degradação. As falhas podem ser notadas pelas quedas de pressão (603) e as quedas de temperatura (604) correlacionadas. Na figura 7, são mostrados o componente principal y_1 (701) e a degradação estimada d_1 (702) da

válvula 1. Pode ser visto que a degradação estimada, neste exemplo, é claramente visível acima de 50% e avança a uma taxa relativamente constante até cerca de 100%, quando a válvula falha.

A figura 8 mostra um arranjo de processamento exemplificativo, ilustrativo e não-limitativo para a obtenção de dados de sensores a bordo de uma aeronave, inserindo-os em um banco de dados 803. Neste caso, o avião chega ao aeroporto (bloco 801). As informações dos sensores, que a aeronave adquiriu em vôo, são transferidos para uma estação de processamento (bloco 802). Esses processos de transferência podem ser manuais ou automáticos. Os dados coletados são gravados em um banco de dados (bloco 803) localizado na estação de terra. O processo pode ser repetido para o pouso de cada aeronave. Pela coleta de dados dos sistemas de controle de aeronaves diferentes, é possível determinar a degradação no sistema de controle do processo de um avião em particular.

A figura 9 mostra um arranjo de processamento exemplificativo, ilustrativo e não-limitativo para manipular os dados dentro do banco de dados 803 da figura 8. O processo da figura 9 pode ser operado de forma independente do processo descrito na figura 8, e pode ser executado continuamente. A primeira etapa (bloco 903) é para verificar se algum dado novo foi escrito no banco de dados 803. Se não, o processo exemplificativo pode entrar em loop (realimentação) até que novos dados sejam inseridos. Quando a verificação detecta um novo *upload* (carregamento) no banco de dados, os novos dados carregados são processados (bloco 904) de acordo com o mecanismo descrito acima para gerar o estado de saúde do sistema. Estes resultados são armazenados no banco de dados 803 e o processo retorna para a verificação de novos dados.

A figura 10 mostra um arranjo de processamento exemplificativo, ilustrativo e não-limitativo para apresentar os resultados em uma estação do operador. O processo da figura 10 pode ser realizado independentemente daqueles mostrados nas figuras 8 e 9, e pode ser executado apenas quando o operador acessa a interface de usuário. A primeira etapa (bloco 1002) faz *download* (descarregamento) dos dados relevantes do banco de dados

803. O processo então determina (bloco 1003) os resultados de alerta com base nas preferências do usuário (bloco 1004). Tais preferências do usuário podem utilizar, por exemplo, parâmetros fornecidos a partir de opções do usuário, que podem ser editadas pelo operador e armazenadas em uma estação do operador ou na estação de processamento. Tais resultados podem ser apresentados em um relatório na Internet (bloco 1005), gerado em um monitor ou por meio de outra indicação visual, auditiva ou tátil.

Um sistema de alerta exemplificativo, ilustrativo e não-limitativo pode fornecer uma indicação tal como mostrada na figura 11. À medida que a degradação aumenta, a região (barra) exibida pode ir de "Nenhuma mensagem" para "Cuidado" e "Alerta". As constantes A1 e A2 podem ser parâmetros que definem os intervalos de alerta. Estes números podem ser definidos em uma interface de usuário para o operador. Por exemplo, um "nível de sensibilidade de alerta" disponível na apresentação pode fornecer opções de entrada definidas pelo usuário, tais como "alto", "médio" e "baixo". A opção de entrada "alto" pode configurar A1 e A2 com valores mais baixos, e a opção "baixo" pode configurar A1 e A2 para valores mais altos. A opção "médio" pode definir os parâmetros como valores intermediários.

Embora a tecnologia tenha sido aqui descrita em associação com formas de incorporação exemplificativas, ilustrativas e não-limitativas, a invenção não está limitada por esta descrição. Por exemplo, enquanto as técnicas acima são descritas em conexão com sistemas de controle de válvulas pneumáticas em malha fechada, outras aplicações (por exemplo, sistemas de malha aberta, sistemas de controle usando outras válvulas não pneumáticas, etc.) também são possíveis. Em adição, enquanto as técnicas descritas acima são especialmente adequadas para a análise de terra de dados coletados em um avião em voo, outros arranjos (por exemplo, aplicações diferentes das de aviação, análise à bordo, etc.) também são possíveis. A invenção é destinada a ser definida pelas reivindicações, cobrindo todos os arranjos correspondentes e equivalentes, quer estejam ou não descritos aqui.

REIVINDICAÇÕES

1. **Processo para monitoramento do desempenho e prognósticos para válvulas de controle pneumáticas de aeronaves**, para monitorar a saúde de um sistema de controle baseado em válvula pneumática, compreendendo:

a aquisição de medições históricas sobre a operação de pelo menos uma válvula pneumática como uma função de tempo (t_k);

comparação e avaliação de ditas medições históricas da dita pelo menos uma válvula pneumática para gerar resíduos ou resultados de comparação, em que ditos resíduos ou resultados de comparação são gerados a partir da comparação de ditas medições históricas com valores de referência; e

conversão dos ditos resíduos ou resultados de comparação em componente principal para cada pelo menos uma válvula pneumática;

caracterizado pelas etapas de:

identificar tempos até a próxima falha ($t_{F,i}(t_k)$) a partir de dados históricos, ditos tempos até a próxima falha ($t_{F,i}(t_k)$) correspondendo ao tempo quando dita válvula pneumática falha;

derivar um tempo até a próxima falha normalizado ($t_{N,i}(t_k) = t_k - t_{F,i}(t_k)$) como uma diferença entre um tempo (t_k) e dito tempo até a próxima falha ($t_{F,i}(t_k)$);

uso do dito tempo até a próxima falha normalizado para estimar um índice de degradação como uma função do tempo pela interpolação linear entre um tempo (t_0) quando uma mudança é observada em dito componente principal,

dita mudança sendo associada com um início de uma falha ou falha incipiente, e dito tempo até a próxima falha ($t_{F,i}(t_k)$), em que dita pelo menos uma válvula deve ser totalmente degradada quando falhar e não degrada até dito tempo (t_0) quando dita mudança é observada;

aplicar uma função de ajuste de curva para relacionar componentes principais e índices de degradação; e

calcular uma degradação de válvula usando dita função.

2. Sistema para monitoramento do desempenho e prognósticos para válvulas de controle pneumáticas de aeronaves, para monitoramento da saúde de um sistema de controle baseado em válvula pneumática, compreendendo:

meios para a aquisição de medições históricas sobre o funcionamento de pelo menos uma válvula pneumática como função do tempo (t_k);

meios para comparação e avaliação de ditas medições históricas da dita pelo menos uma válvula pneumática para gerar resíduos ou resultados de comparação, em que ditos resíduos ou resultados de comparação são gerados a partir da comparação de ditas medições históricas com valores de referência; e

meios para conversão dos ditos resíduos ou resultados de comparação em componente principal para cada pelo menos uma válvula pneumática;

caracterizado pelo fato de compreender, ainda:

meios para identificar tempos até a próxima falha ($t_{F,i}(t_k)$) a partir de dados históricos, ditos tempos

até a próxima falha ($t_{F,i}(t_k)$) correspondendo ao tempo quando dita válvula pneumática falha;

meios para derivar um tempo até a próxima falha normalizado ($t_{N,i}(t_k) = t_k - t_{F,i}(t_k)$) como uma diferença entre um tempo (t_k) e dito tempo até a próxima falha ($t_{F,i}(t_k)$);

meios para usar do dito tempo até a próxima falha normalizado para estimar um índice de degradação como uma função do tempo pela interpolação linear entre um tempo (t_0) quando uma mudança é observada em dito componente principal, dita mudança sendo associada com um início de uma falha ou falha incipiente, e dito tempo até a próxima falha ($t_{F,i}(t_k)$), em que dita pelo menos uma válvula deve ser totalmente degradada quando falhar e não degrada até dito tempo (t_0) quando dita mudança é observada;

meios para aplicar uma função de ajuste de curva para relacionar componentes principais e índices de degradação; e

meios para aplicar uma função de ajuste de curva para relacionar componentes principais e índices de degradação.

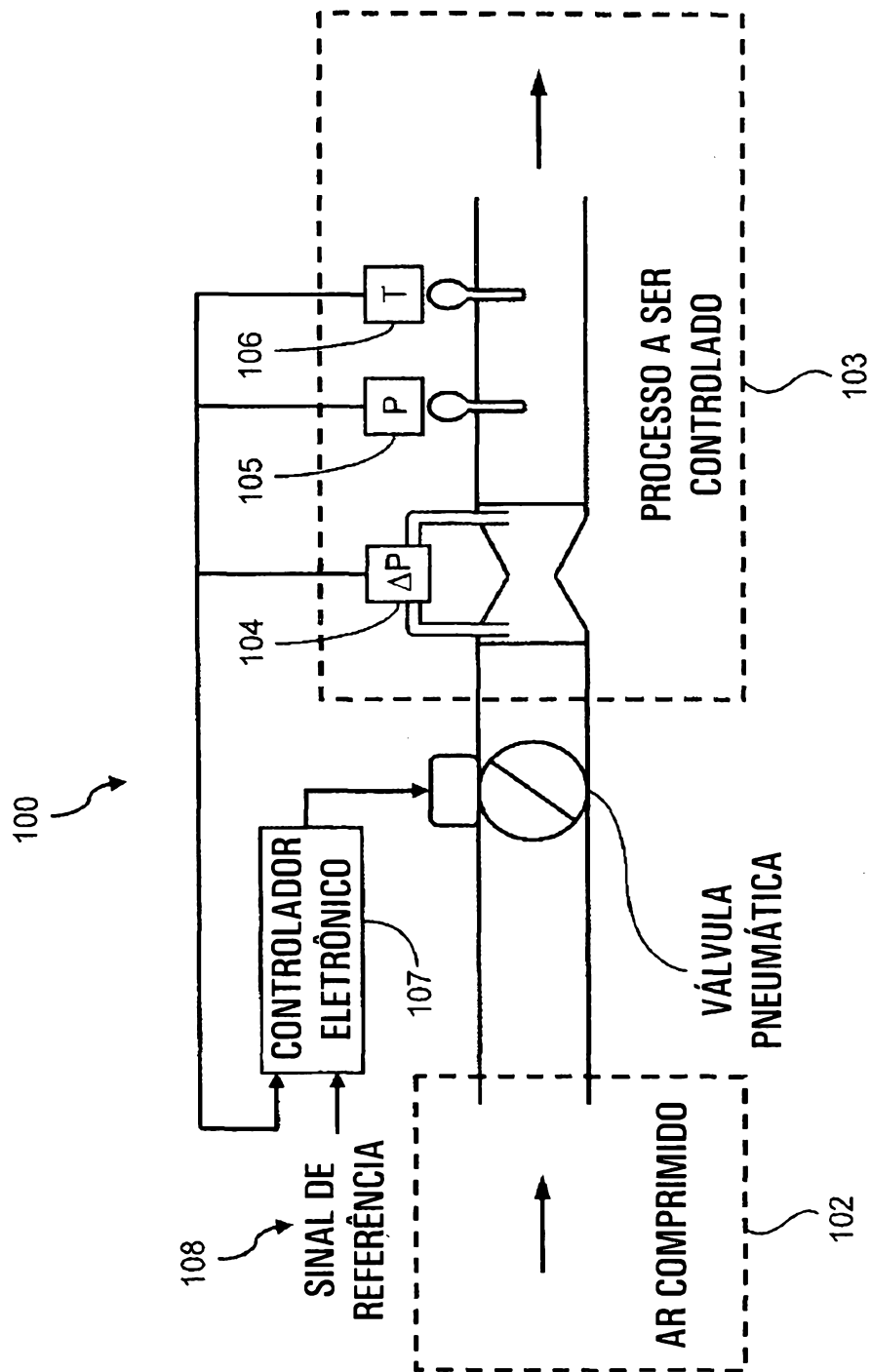


Fig. 1

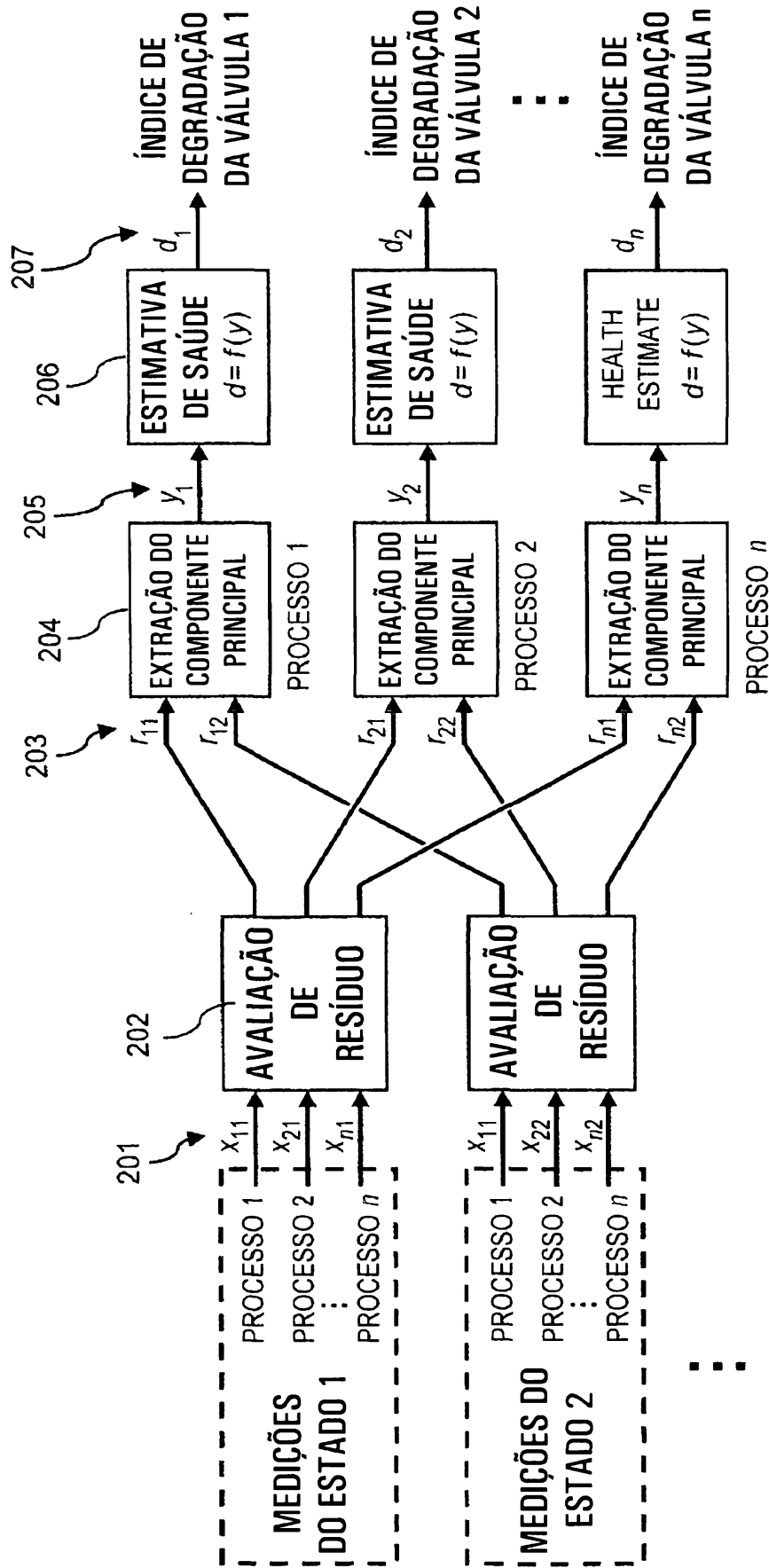


Fig. 2

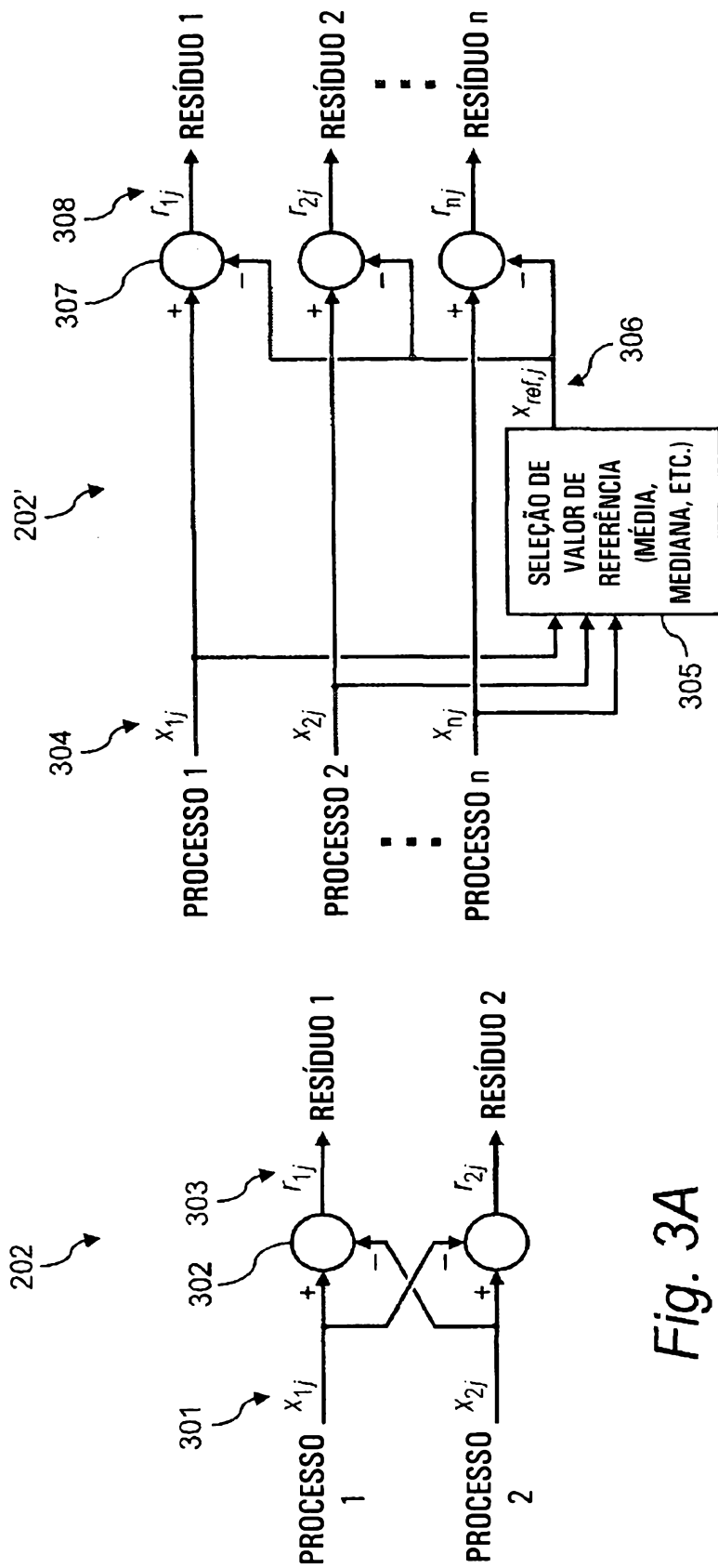


Fig. 3B

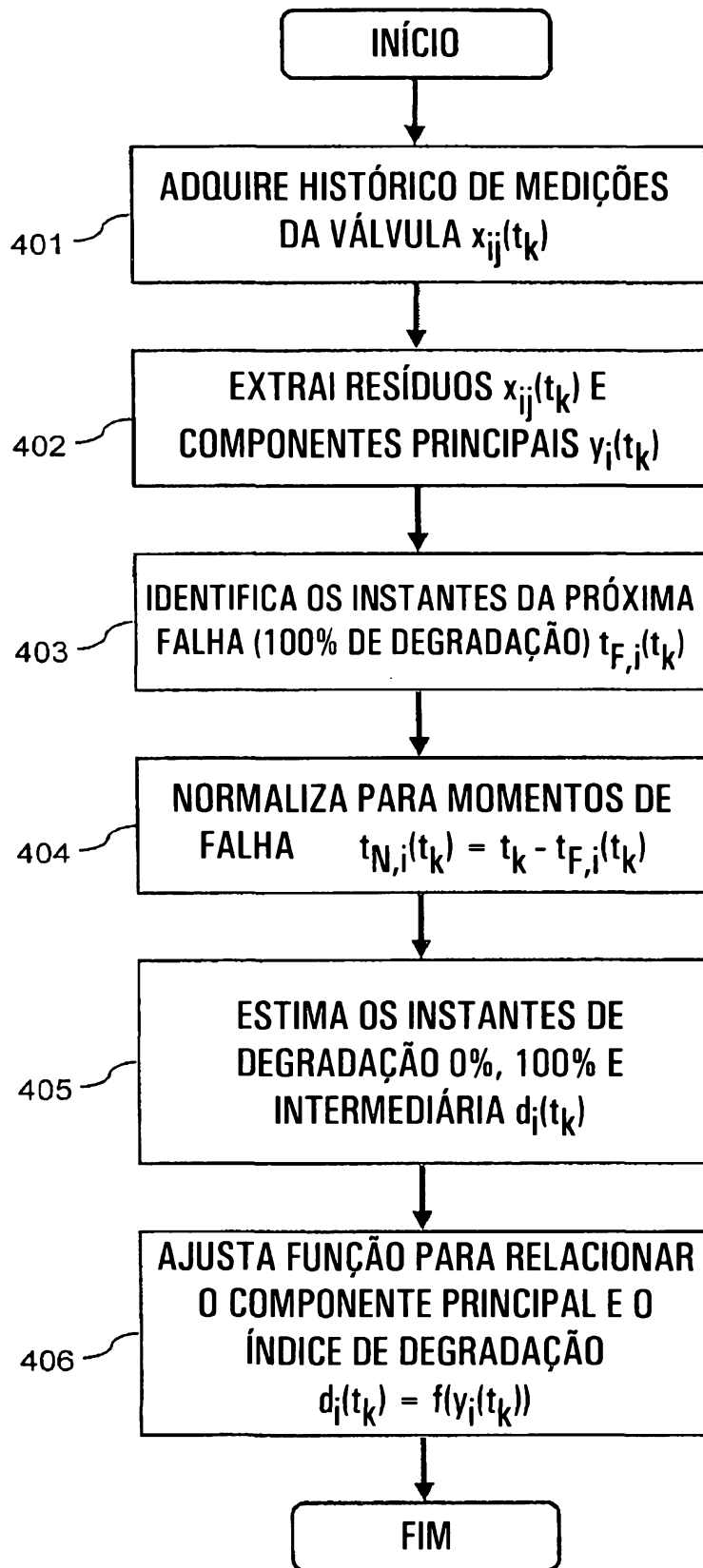
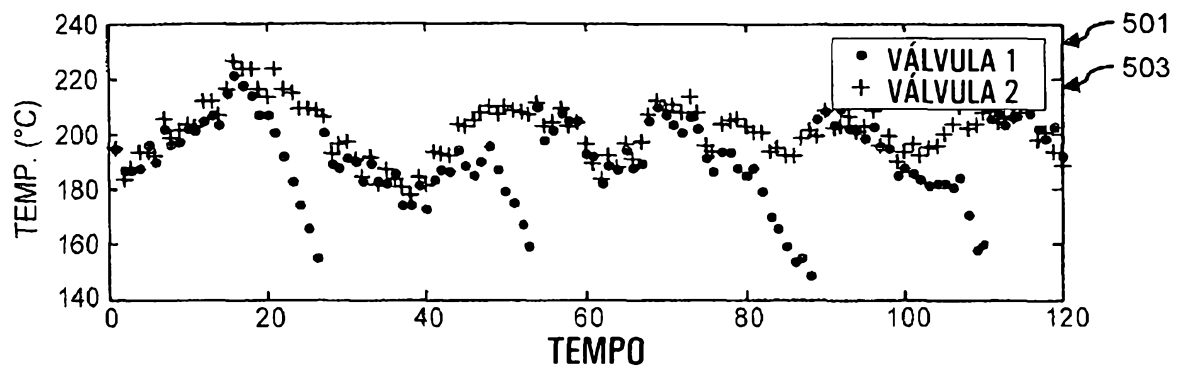
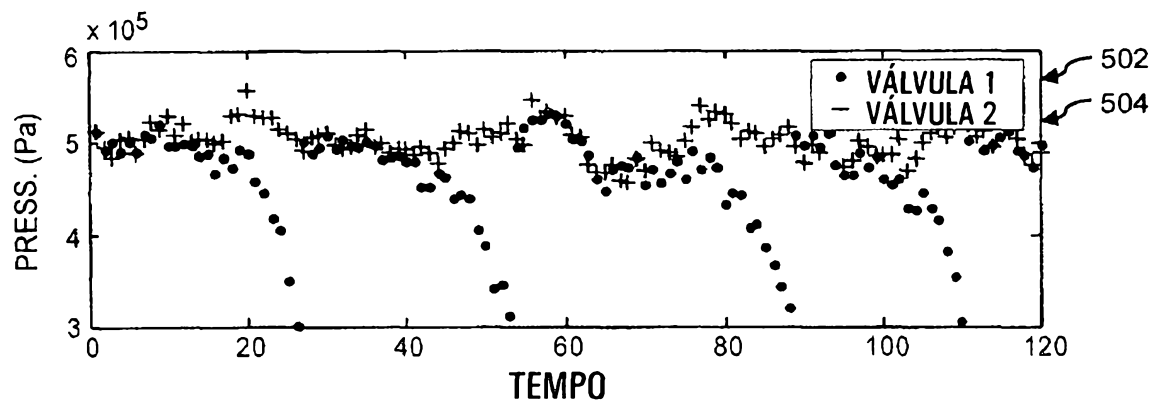
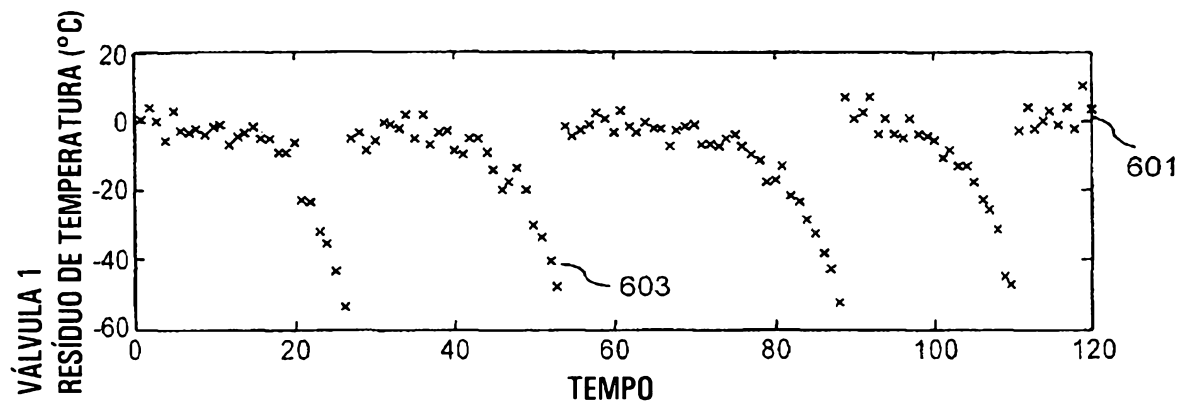
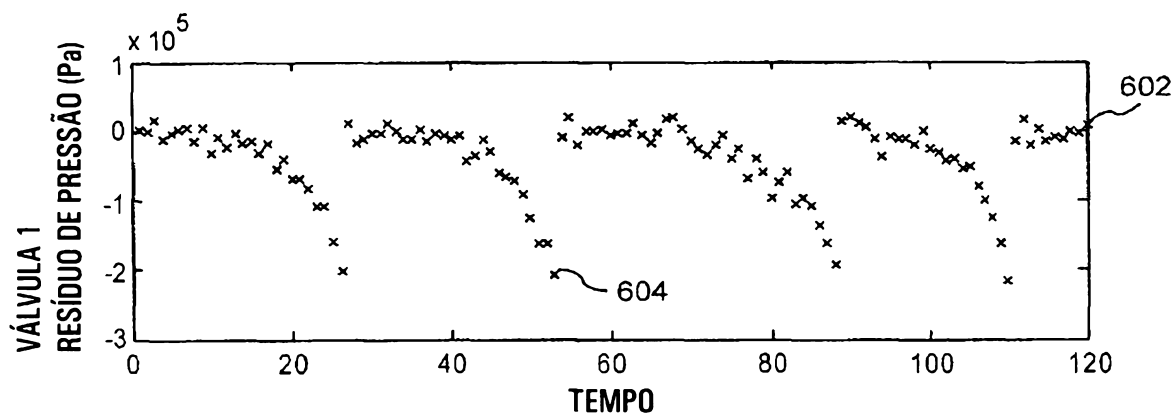


Fig. 4

*Fig. 5A**Fig. 5B*

*Fig. 6A**Fig. 6B*

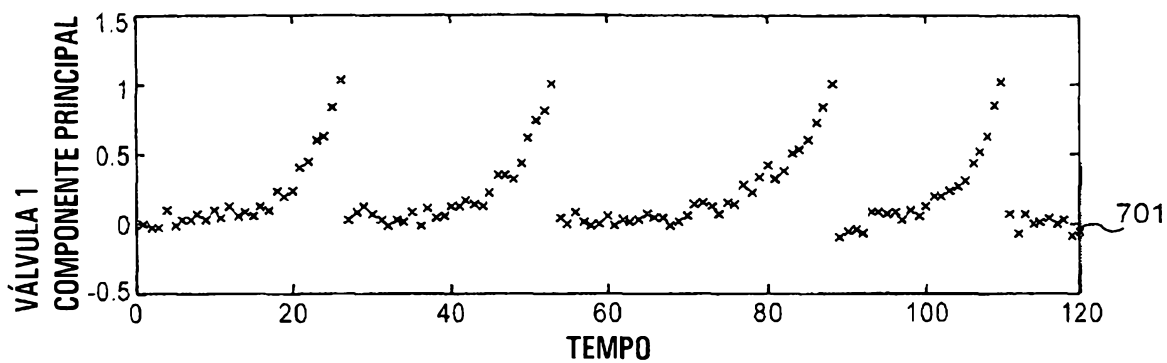


Fig. 7A

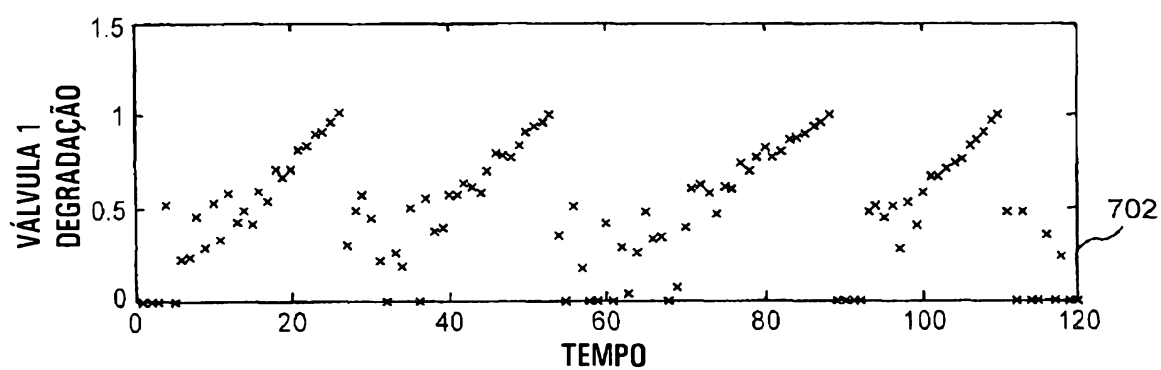


Fig. 7B

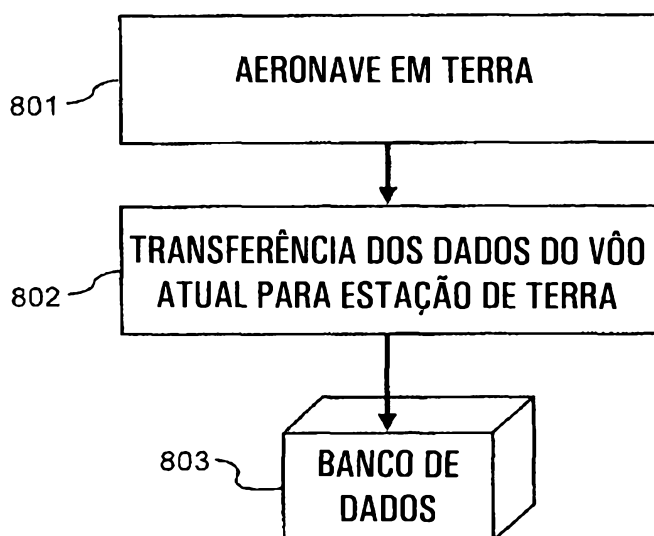


Fig. 8

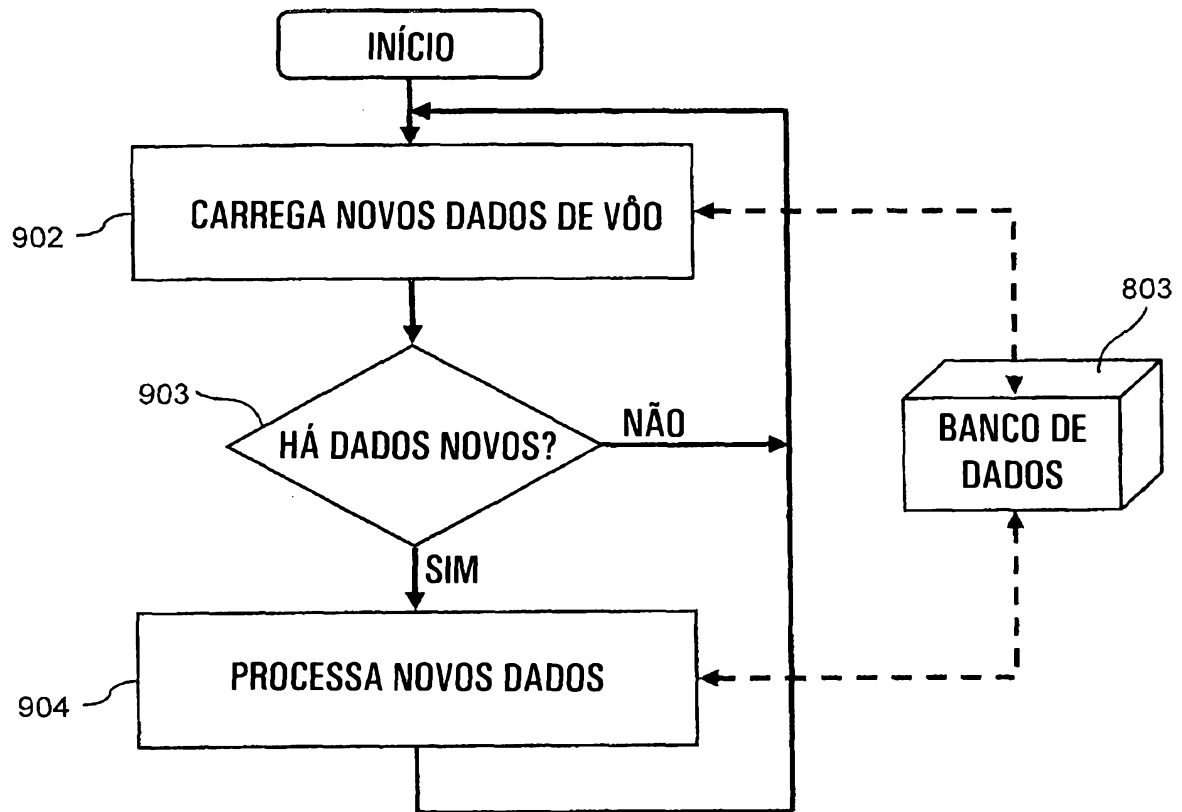
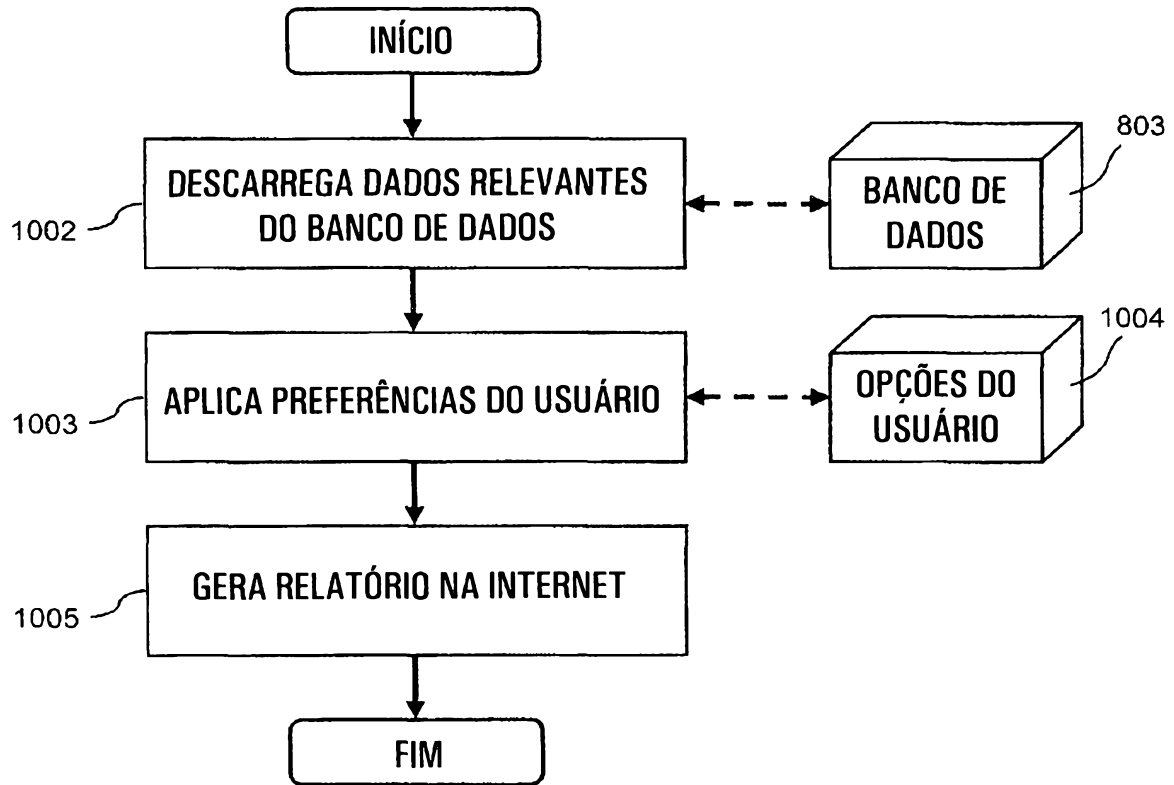
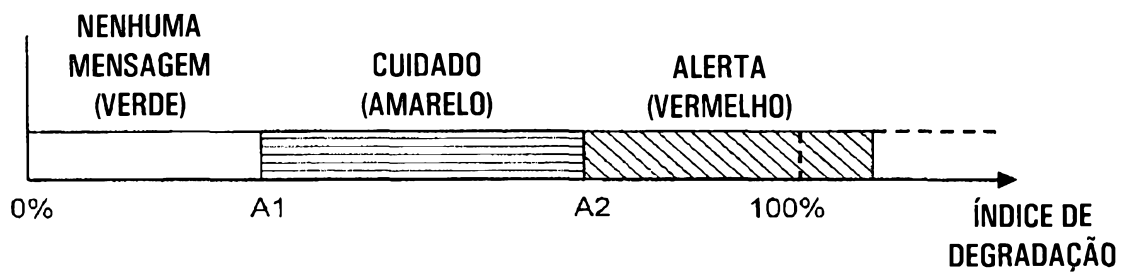


Fig. 9

*Fig. 10**Fig. 11*