

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

(21) **PI 0713049-0 A2**



(22) Data de Depósito: 25/06/2007
(43) Data da Publicação: 17/04/2012
(RPI 2154)

(51) *Int.Cl.:*
G01N 29/06
G01N 29/04
G01N 29/22
G01N 29/26
G01N 29/265
G01N 29/44

(54) **Título:** CONTROLE NÃO DESTRUTIVO DE PRODUTOS SIDERÚRGICOS PARA ULTRA-SONS

(30) **Prioridade Unionista:** 30/06/2006 FR 06 05923

(73) **Titular(es):** V&M France

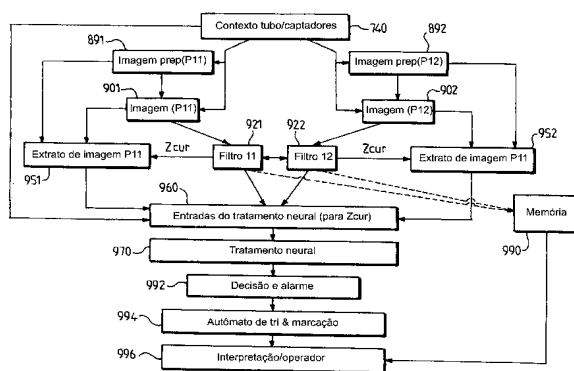
(72) **Inventor(es):** Bernard Bisiaux, Frédéric Lesage, Sylvain Deutsch, Sébastien Petit

(74) **Procurador(es):** Dannemann, Siemsen, Bigler & Ipanema Moreira

(86) **Pedido Internacional:** PCT FR2007001048 de 25/06/2007

(87) **Publicação Internacional:** WO 2008/000940de 03/01/2008

(57) **Resumo:** CONTROLE NÃO DESTRUTIVO DE PRODUTOS SIDERÚRGICOS PARA ULTRA-SONS. Dispositivo de controle não destrutivo de tubos. Ele coleta informações sobre imperfeições de sinais captados por receptores ultra-sonoros consecutivamente à excitação seletiva de emissores ultra-sonoros, segundo uma lei de tempo escolhida. Os receptores formam uma disposição de geometria escolhida, acoplada de maneira ultra-sonora, com movimento relativo de rotação/translação, com o tubo. O dispositivo compreende um conversor (891; 892) isolando seletivamente uma representação numérica de ecos em janelas temporais designadas, em função do movimento, e tirando uma imagem (901; 902) de imperfeições, um filtro (921, 922), determinando zonas de imperfeição presumida (Zcur) e propriedades destas, um combinador (960) preparando entradas numéricas de trabalho, a partir de um extrato (951; 952) das imagens de uma zona de im- perfeição, de propriedades desta oriundas do filtro e de dados de contexto (740), um circuito neural (970) que recebe as entradas de trabalho, um estágio numérico de decisão e de alarme (992), operando sobre a base da saída do circuito neuronal, e um autômato de tri e de marcação (994) dos tubos decididos não conformes pelo estágio de decisão e alarme.





Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**CONTROLE NÃO DESTRUTIVO DE PRODUTOS SIDERÚRGICOS PARA ULTRASONS**".

5 A invenção se refere ao controle não destrutivo de materiais, notadamente para os tubos em fabricação.

São conhecidas diferentes preposições, nas quais se voltará, tendendo a utilizar as redes neurais no âmbito do controle não destrutivo de materiais. Mas esse existente não é de natureza a funcionar em meio industrial, sobre equipamentos já em serviço, em tempo real, e permitindo uma
10 classificação no vôo das imperfeições, segundo sua natureza, de modo que se possa prevenir rapidamente um problema ocorrido em fase de produção.

O objeto da invenção é de melhorar a situação para um sistema que possa:

- se utilizado em meio industrial e implantado facilmente sobre
15 equipamentos existentes nesse meio,

- se utilizado em tempo real, isto é, dar um diagnóstico rápido (a uma velocidade suficiente para não diminuir a velocidade de produção global), e

- que permita uma classificação das imperfeições segundo sua
20 natureza, de maneira a conhecer sua gravidade e a permitir a determinação da causa técnica na origem da imperfeição e assim prevenir rapidamente o problema em fase de produção.

De acordo com um primeiro aspecto da invenção, é proposto um dispositivo que forma ferramenta auxiliar na exploração, para o controle não
25 destrutivo de tubos (ou outros produtos siderúrgicos) em curso e na saída de fabricação. Essa ferramenta é destinada a colher informações sobre eventuais imperfeições do tubo. Captadores ultra-sonoros emissores são excitados seletivamente, segundo uma lei de tempo escolhido. Sinais de retorno são captados por captadores ultra-sonoros receptores, formando uma disposição
30 de geometria escolhida, montada em acoplamento ultra-sonoro com o tubo por intermédio de um meio líquido. Enfim, há geralmente um movimento relativo de rotação/translação entre o tubo e a disposição de transductores.

A ferramenta auxiliar na exploração proposta compreende:

- um conversor, capaz de isolar seletivamente uma representação numérica de possíveis ecos em janelas temporais designadas, em função do movimento relativo de rotação/translação, e daí tirar uma imagem de imperfeições possíveis no tubo;
- um filtro, capaz de determinar, nas imagens, zonas de imperfeição presumida, assim como propriedades de cada imperfeição presumida;
- um combinador, ajustado para preparar entradas numéricas de circuito neural, a partir de um extrato das imagens correspondentes a uma zona de imperfeição presumida, de propriedades da imperfeição presumida na mesma zona, oriundas do filtro e de dados de contexto;
- pelo menos um circuito neural, que recebe entradas oriundas do combinador;
- um estágio numérico de decisão e alarme, operando sobre a base da saída do circuito neural; e
- um autômato de tri e de marcação, ajustado para afastar e marcar tubos decididos não conformados pelo estágio numérico de decisão e alarme.

A invenção pode também se colocar no nível de um dispositivo de controle não destrutivo de tubos (ou outros produtos siderúrgicos) em curso ou na saída de fabricação, que compreende:

- uma disposição de transdutores ultra-sonoros de geometria escolhida, montado em acoplamento ultra-sonoro com o tubo por intermédio de um meio líquido, com movimento relativo de rotação/translação entre o tubo e a disposição de transdutores;
- circuitos para excitar seletivamente esses elementos transdutores, segundo uma lei de tempo escolhida, e para coletar os sinais de retorno que eles captam, e
- uma ferramenta auxiliar na exploração tal como definido mais acima e detalhado a seguir.

Um outro aspecto da invenção se expressa sob a forma de um processo de controle não destrutivo de tubos (ou outros produtos siderúrgi-

cos) em curso ou na saída de fabricação, compreendendo as seguintes etapas:

- 5 a. prever uma disposição de transdutores ultra-sonoros de geometria escolhida, montado em acoplamento ultra-sonoro com o tubo por intermédio de um meio líquido, com movimento relativo de rotação/translação entre o tubo e a disposição de transdutores;
- b. excitar seletivamente esses elementos transdutores, segundo uma lei de tempo escolhida;
- 10 c. coletar os sinais de retorno que eles captam, a fim de analisar seletivamente esses sinais de retorno, para daí tirar informações sobre eventuais imperfeições de tubo.

O processo proposto compreende, além disso, as seguintes etapas:

- 15 d. isolar seletivamente uma representação numérica de possíveis ecos em janelas temporais designadas, em função do movimento relativo de rotação/translação, e daí tirar uma imagem de imperfeições possíveis no tubo;
- e. filtrar as imagens segundo critérios de filtragem escolhidos, a fim de aí determinar zonas de imperfeição presumida, assim como propriedades de cada imperfeição presumida, assim como propriedades de cada imperfeição presumida,
- 20 f. formar entradas numéricas de circuito neural, a partir de um extrato das imagens correspondente a uma zona de imperfeição presumida, de propriedades da imperfeição presumida na mesma zona, oriundas do filtro, e de dados de contexto;
- 25 g. aplicar as entradas assim formadas em pelo menos um circuito neural;
- 30 h. tratar numericamente a saída do circuito neural, segundo critérios de decisão escolhidos, para daí tirar uma decisão e/ou um alarme; e

- i. afastar e marcar tubos decididos não conformados pela etapa h.

Outros aspectos da invenção serão descobertos na seqüência do presente pedido de patente.

5 Outras características e vantagens da invenção apareceram com o exame da descrição detalhada a seguir, assim como dos desenhos anexados, nos quais:

- a figura 1 representa uma vista esquemática em perspectiva de um tubo, tendo imperfeições ou defeitos ditos padrões;

10 - a figura 2 representa uma vista lateral esquemática, ilustrando um exemplo de instalação do tipo "controle com cabeças giratórias" sobre um tubo na saída de fabricação;

- as figuras 3A a 3C são detalhes de diferentes tipos de medida de espessura e de controle de imperfeições longitudinais e transversas;

15 - a figura 4 representa o esquema de princípio da eletrônica associada a um captador ultra-sonoro em controle não destrutivo em uma instalação clássica;

20 - as figuras 5A e 5B representam uma vista em corte e uma vista lateral de um tipo particular de célula de controle não destrutivo, comumente denominado "com cabeça giratória" e representado esquematicamente;

- a figura 6 mostra a complexidade dos trajetos ultra-sonoros encontrados em um tubo, em um exemplo simples;

25 - as figuras 6A e 6B são diagramas temporais esquemáticos de sinais ultra-sonoros, para um captador sob incidência normal (perpendicular), respectivamente;

- a figura 7 representa um gráfico mostrando uma representação clássica da seletividade de uma instalação de controle;

30 - a figura 8 representa um esquema de princípio da eletrônica associada a um captador ultra-sonoro em controle não destrutivo em um exemplo de instalação capaz de aplicar a invenção;

- a figura 8A é o esquema funcional mais detalhado de uma parte da figura 8;

- a figura 9 representa uma cópia de tela esquematizada, ilustrando duas imagens ultra-sonoras numeradas de imperfeições potenciais em um tubo;

5 - as figuras 10A a 10D são representações esquemáticas de diferentes tipos de imperfeições, segundo a classificação API (American Petroleum Institute) e que constituem os dados de saída da rede neural que tende a determinar o tipo da imperfeição;

 - a figura 11 representa o esquema funcional mais detalhado de uma outra parte da figura 8;

10 - a figura 12 representa um diagrama seqüencial, ilustrando o tratamento de imperfeições potenciais sucessivas em uma imagem;

 - a figura 13 representa o esquema funcional de um sistema de filtros utilizáveis segundo a invenção;

15 - a figura 14 representa o esquema funcional de uma montagem com rede neural tendendo a determinar o tipo de uma imperfeição em um tubo;

 - a figura 15 representa o esquema funcional de uma montagem com rede neural, tendendo a determinar o grau de profundidade de uma imperfeição em um tubo;

20 - a figura 16 representa o esquema funcional do modelo de neurônio;

 - a figura 17 representa um exemplo de função de transferência de um neurônio elementar; e

25 - a figura 18 representa o esquema geral de uma instalação, utilizando a invenção, para a detecção dos defeitos em diferentes tipos de captadores.

30 Os desenhos contêm elementos de caráter determinado. Eles poderão, portanto, não somente servir para fazer compreender melhor a presente invenção, mas também contribuir para a sua definição, se for o caso.

 Na seqüência do presente texto, um captador ultra-sonoro poderá ser designado indiferentemente pelos termos captador ou apalpador ou

transductor bem conhecidos do técnico.

Usos conhecidos das redes neurais

A utilização de redes neurais no âmbito do controle não destrutivo de materiais constituiu o objeto de numerosas publicações, na maior parte do tempo, bastante teóricas, que será considerada agora.

O artigo "Localization and Shpe Classification of Defects using the Finite Element Method and the Neural Networks" de ZAQUI, MARCHAND e RAZEK (NDT. NET-AOUT 1999, vol. IV nº resumido 8) fórmula das proposições nesse domínio. Todavia, essas proposições são feitas no âmbito de manipulações em laboratório, e a aplicação descrita não permite uma utilização em linha, em meio industrial. Além disso, só a detecção por corrente de Foucault é tratada, o que é freqüentemente insuficiente.

O artigo "Automatic Detection of Defect in Industrial Ultrasound images using a neural Network" de Lawson et Parker (Proc. Of Int. Symposium on Lasers, Optics, and Vision for Productivity in Manufacturing I (Vision Systems: Applications), junho 1996, Proc. Of SPIE vol. 2786, pp. 37-47, 1996), descreve a aplicação do tratamento de imagens e das redes neurais na interpretação do que se denomina "scan TOFD". O método dito TOFD (Time of Flight Diffraction) consiste em marcar as posições do captador ultrasonoro no qual se pode observar uma difração do feixe as bordas da imperfeição, o que permite na seqüência dimensionar a imperfeição. Esse método dificilmente é adaptável aos equipamentos de controle não destrutivo já existentes, em particular em meio industrial.

O artigo "Shape Classification of Flaw Indications in 3-Dimensional ultrasonic Images" de Dunlop et McNab (IEE Proccedings - Science, Measurement and Technology - July 1995 - volume 142, Issue 4, p. 307-312) se refere ao diagnóstico em termos de corrosão de pipeline. O sistema permite um controle não destrutivo em profundidade e permite um estudo nas três dimensões e em tempo real. Todavia, o sistema é muito lento. Isto torna sua utilização em meio industrial relativamente difícil.

O artigo "Application of neuro-fuzzy techniques in oil pipelines ultrasonic nondestructive testing" de Ravanbord (NDT & E International 38

(2005) p 643-653) sugere que os algoritmos de detecção da imperfeição podem ser melhorados pela utilização de elementos de lógica desfocada, misturados na rede de neurônios. Todavia, as técnicas estudadas se referem também à inspeção de imperfeições de pipeline e um diagnóstico sobre imperfeições de corrosão.

DE 42 01 502 C2 descreve um método para criar um sinal destinado a uma rede de neurônios mais fornece apenas poucas informações ou nenhuma sobre a interpretação dos resultados, em termos de diagnósticos. Além disso, de novo, só a detecção por corrente de Foucault é tratada.

A publicação de patente japonesa 11-002626 se refere à detecção de imperfeições longitudinais unicamente e somente por correntes de Foucault.

A publicação de patente Nº 08-110323 se contenta com um estudo em frequência dos sinais obtidos por ultra-sons.

A publicação de patente nº 2003-279550 descreve um programa para fazer a diferença entre uma zona qualificada de sadia e uma zona má de um produto, utilizando uma rede de neurônios. Esse programa não vai mais longe e não permite a classificação, nem a localização de imperfeições. Em consequência, a aplicação desse programa pode freqüentemente levar à rejeição de peças que seriam com tudo consideradas como boas, caso os resultados fossem interpretados por um operador humano.

Controles não destrutivos de tubos - Estado da técnica

A descrição detalhada a seguir é dada essencialmente no âmbito do controle não destrutivo de tubo na saída da fabricação, a título não limitativo.

Conforme indicado na figura 1, as imperfeições em um tubo T podem ser distinguidas a partir de sua posição. Assim, as imperfeições de superfície, interna ou externa compreendem as imperfeições longitudinais LD, e as imperfeições circunferenciais (ou transversas ou através de ou transversais) CD e as imperfeições oblíquas ou inclinadas ID: por diferentes disposições de captadores, procura-se detectá-las, desde que elas se estendam por um comprimento e uma profundidade definida, segundo as nor-

mas ou as especificações ou cadernos de encargos dos clientes (a título de exemplo, um valor de comprimento de imperfeição citado nas normas é de ½ polegada, seja 12,7 mm aproximadamente com uma profundidade de aproximadamente 5% de espessura do produto controlado). Tem-se interesse também pelas imperfeições "na parede", isto é, na massa MD (não visíveis na figura 1), que corresponde freqüentemente as inclusões ou a desdobradores, que se procura detectar ao mesmo tempo que se faz uma medida de espessura. Os feixes ultra-sonoros estão representados divergentes na figura 1, para fazer compreender a detecção de imperfeições. Na prática, serão antes de tudo convergentes conforme será visto.

De maneira clássica, em controle não destrutivo por ultra-sons, utiliza-se um dos três tipos de instalações seguintes: as instalações ditas "com cabeça giratória", as instalações ditas "com tubo giratório", e as instalações com captador envolvendo multi-elementos, todas bem conhecidas do técnico. No caso de utilização de captadores que operam em varredura eletrônica, a rotação relativa tubo/captadores é virtual. Tal qual utilizada no caso, expressão "movimento relativo de rotação/translação entre tubo e disposição de transdutores" abrange o caso em que a rotação relativa é virtual.

Sobre a figura 2, a máquina de controle não destrutivo com cabeça giratória compreende um dispositivo com ultra-sons propriamente dito, montado sobre um compartimento com água "ou caixa d'água" 100, que atravessa o tubo T à velocidade $v = 0,5$ metro por segundo, por exemplo. Os captadores ou apalpadores com ultra-sons emitem ondas longitudinais na água. Um captador determinado trabalha, por exemplo, a 1 ou alguns MHz. Ele é excitado repetitivamente por impulsos, de forma de onda escolhida, a uma cadência (ou freqüência) de recorrência FR que é da ordem de alguns kHz ou dezenas de kHz, por exemplo, de 10 kHz.

Por outro lado, um transdutor com ultra-sons possui:

- uma radiação de campo próxima, praticamente paralela, em uma zona dita de Fresnel, sede de numerosas interferências, cujo comprimento no eixo do feixe é

$$N = 0,25 D^2 / \lambda$$

na qual D é o diâmetro da pastilha ativa de transductor, e λ seu comprimento de onda de trabalho, e

- uma radiação de campo longínquo, em uma zona dita de Fraunhofer, segundo um feixe divergente de ângulo 2α , com

$$5 \quad \text{Sen } \alpha = 1,22 \lambda/D$$

As figuras 3A, 3B e 3C representam captadores tornados convergentes, por meio de uma lente (com ultra-sons) côncavo, tais que são comumente utilizados nas aplicações nos tubos. Utiliza-se, de preferência, a zona de Fraunhofer, menos perturbada.

10 Assim, para captadores, tais como P11 e P12, o feixe de ultra-sons, que é, em geral, focalizado, se estende nas proximidades de um plano perpendicular ao eixo do tubo T. A detecção é feita, portanto, sensivelmente em seção reta. Seus papéis são os seguintes:

- ou seu feixe é também perpendicular ao eixo do tubo T na seção reta, e servem para a medida de espessura (por exemplo, P1, figura 3A); fala-se então de "apalpamento direito";

- ou seu feixe é incidente sobre o eixo do tubo T, em seção reta, e servem para detectar as imperfeições longitudinais (por exemplo, P11, figura 3B). Nesse caso, o ângulo de incidência na seção reta é, de preferência, escolhido para gerar no tubo apenas ondas ultra-sonoras transversais ou de cisalhamento, considerando-se características da interface água/metal do tubo (em princípio água/aço). São previstos geralmente dois captadores P11 e P12, de incidências opostas em relação ao eixo do tubo (figura 2).

A máquina co compreende também captadores, tais como P21 e P22 dos quais, ao contrário, o feixe de ultra-sons, que é também focalizado em regra geral, se estende nas proximidades de um plano que passa pelo eixo do tubo, mas incidente em relação ao plano perpendicular ao eixo do tubo T (ver captador P21, figura 3C). Nesse caso, o ângulo de incidência em relação ao plano perpendicular ao eixo do tubo é, de preferência, escolhido para gerar no tubo apenas ondas ultra-sonoras transversais ou de cisalhamento, considerando-se características da interface água/metal do tubo (em princípio água/aço). Esses captadores servem para detectar as imperfeições

transversas. São previstos geralmente dois captadores P21 e P22 de incidências opostas em relação ao plano perpendicular ao eixo do tubo (figura 2).

5 O controle das imperfeições é feito geralmente focalizando o feixe. O ponto de focalização é medido em relação ao "salto", que correspondendo ao primeiro trajeto de ida e volta dos ultra-sons na espessura do tubo. Assim, o captador da figura 3A é focalizado no semi-salto, enquanto que os captadores das figuras 3B e 3C são focalizados em $\frac{3}{4}$ de salto. Por outro lado, o controle das imperfeições externas é feito geralmente na queda e
10 aquele das imperfeições internas ao semi-salto.

Anota-se T_a , o tempo de presença requerido para que o apalpador possa receber corretamente o retorno do feixe de ultra-sons, representativo de uma eventual imperfeição. Esse tempo T_a depende da soma dos dois tempos seguintes:

15 - por um lado, o tempo de propagação ida e volta de ondas ultra-sonoras longitudinais, sobre a altura da "coluna d'água" presente entre o apalpador e o tubo, no trajeto dos ultra-sons;

- por outro lado, o tempo de propagação de ondas ultra-sonoras transversais, tal como requerido no interior do tubo para fazer o controle ele
20 próprio não destrutivo. Esse tempo depende principalmente de uma escolha do número desejado de reflexos das ondas transversais no interior da parede do tubo.

Classicamente, os apalpadores são acionados em rotação em torno do eixo do tubo, por meios não representados, a uma velocidade T da
25 ordem de vários milhares de rpm (6000 rpm, por exemplo). No caso também conhecido do técnico em que é o tubo que é acionado em rotação, enquanto que os apalpadores não são acionados em rotação (instalação dita "com tubo giratório"), a velocidade de rotação do tubo é da ordem de algumas dezenas a alguns milhares de rpm.

30 Pode-se denominar "célula" cada conjunto captador - meio de transmissão (água) - tubo. Para uma célula, deve-se considerar, além disso, a abertura de feixe θ_d dos apalpadores com ultra-sons em detecção. Uma

abertura pode ser definida com duas componentes (figura 1), uma $Od1$ na seção reta do tubo, a outra $Od2$ no plano que passa pelo eixo do tubo e pelo apalpador.

5 A regulagem da instalação (em função da velocidade de rotação, da velocidade de passagem, das dimensões $Od1$ e $Od2$ e do número de apalpadores). Deve garantir uma varredura pelos feixes ultra-sonoros do conjunto das superfícies e do volume do tubo a controlar.

Deve ser observado que certas normas ou caderno de encargos com especificações dos clientes impõem uma cobertura das zonas varridas.

10 O tempo de análise Ta é, portanto, definido por um compromisso entre:

- a cadência (ou frequência) de recorrência Fr ;
- em seção reta do tubo, a velocidade de rotação ω , considerando-se a abertura em detecção $Od1$ dos apalpadores com ultra-sons (em outros termos, considerando-se a rotação dos captadores, a componente $Od1$ da abertura de feixe deve permitir um tempo de presença da imperfeição diante dos captadores que seja pelo menos igual à Ta);
- ao longo do tubo, a velocidade de passagem v deste, considerando-se a abertura em detecção $Od2$ de um apalpador com ultra-sons, e do número NFi de apalpadores consagrados com a mesma função Fi (que constituem, portanto, um grupo de apalpadores), na periferia do tubo (em outros termos, considerando-se o avanço do tubo, a componente $Od2$ da abertura do feixe deve permitir um tempo de presença da imperfeição diante do captador (ou do grupo de captadores) que seja pelo menos igual à Ta);
- 25 - o número de apalpadores consagrados ao mesmo papel (isto é, com a mesma função), e
- os tempos de propagação das ondas, tais como definidos anteriormente.

30 Classicamente, a máquina compreende tipicamente em todos dois captadores, tais como $P11$, $P12$ para o controle das imperfeições de tipo CD, aos quais se acrescenta, em princípio, um captador, tal como $P1$, para a medida da espessura do produto e o controle das imperfeições de

tipo MD. Cada captador pode ser, na realidade, um grupo de captadores que trabalham juntos, conforme será visto.

A máquina possui, de forma integrada ou à parte, uma eletrônica de excitação e de detecção associada a cada um dos captadores. Ela compreende (figura 4) um emissor 70 de impulsos, por exemplo, a 250 Volts para a excitação do apalpador P0 montado sobre a caixa com água 100. Como parte integrante do sistema de controle não destrutivo, o apalpador com ultra-sons P0, no caso emissor/receptor, recebe os ecos consecutivos a essa excitação. As linhas 700 e 710 transmitem respectivamente o impulso de excitação e o sinal aos bornes do apalpador com um amplificador 73.

A saída do amplificador 73 serve para a visualização para o operador e/ou o comando de um autômato de tri, capaz de afastar (a jusante) os tubos não conforme.

A visualização é, por exemplo, realizada por um osciloscópio 750, que recebe como sinal a saída do amplificador 73 e, como base de tempo 752, um sinal de um estágio de sincronização 753 proveniente do emissor 70. Um estágio de limite 754 evita uma ofuscação do osciloscópio no momento do impulso de emissão.

Uma outra saída do amplificador 73 vai para um estágio de tratamento de sinal 760. Esse tratamento compreende em geral uma correção, um alisamento e uma filtragem. Ele é seguido de um estágio de detecção ou seletor 762, capaz de isolar os ecos significativos, de maneira conhecida. Em descoberta da imperfeição, é a presença de um eco, com sua amplitude ou sua duração (portanto, sua energia), que são significativos, em certos intervalos temporais, essencialmente em semi-salto e salto. Para a descoberta em espessura, verifica-se que o equivalente-distância do desvio temporal entre os ecos de fundo respectivos corresponde bem à espessura desejada do tubo. As anomalias detectadas, segundo esses critérios, podem servir para emitir um alarme em 764, e/ou para comandar um autômato 766 de tri que evacua os tubos não de acordo, marcando-os segundo a(s) anomalia(s) descoberta(s).

Materialmente, no caso de uma instalação com cabeça giratória

(figuras 5A e 5B), a célula compreende ainda, sobre um suporte mecânico 80, a caixa com água 100, que aloja um conjunto captador P0, com uma conexão 701, que reúne as linhas 700 e 710 da figura 4. São previstos, por exemplo, três rolamentos 81 a 83 para centrar o tubo T.

5 De acordo com a técnica conhecida (máquina vendida, por exemplo, pela sociedade alemã GE NUTRONIK, outrora NUKEM), o conjunto captador P0 compreende captadores que giram a alguns milhares de rpm em torno do tubo. Pode-se também utilizar uma pluralidade de captadores repartidos em anel em torno do tubo. O anel compreende, por exemplo, seis
10 setores de 128 captadores ultra-sonoros, repartidos em torno da periferia. Os setores de captadores são alternadamente ligeiramente defasados no sentido do eixo do tubo. Isto permite ter um recobrimento entre dois setores de captadores consecutivos longitudinalmente e reduz também os problemas de interferências. A interferência intervém quando um captador deter-
minado recebe ecos devido a um tiro efetuado sobre um outro captador.
15

Para isso se acrescenta um banco (não representado) de orientação do tubo a montante e a jusante do posto de controle não destrutivo, para posicionar bem o tubo que passa em contínuo, em relação aos captadores com ultra-sons.

20 O controle não destrutivo deve ser feito em toda a periferia do tubo. Mas é também essencial que esse controle siga a velocidade linear v do tubo na saída de fabricação. Chega-se, portanto a um compromisso entre a velocidade linear v do tubo, a cadência (ou frequência) de recorrência Fr , o tempo de análise Ta , a abertura de trabalho Od do apalpador com ultra-sons
25 em descoberta, e a velocidade de rotação ω , o número de captadores, assegurando a mesma função e a velocidade de propagação das ondas ultra-sonoras.

Também é desejável que a mesma instalação possa trabalhar em toda uma faixa de diâmetros de tubos (e também de espessuras de tubos), abrangendo a faixa de produção. É então freqüente prever vários valores da velocidade de rotação ω e da frequência de recorrência Fr , valores
30 esses que são selecionados em função do diâmetro do tubo a tratar.

Notar-se-á enfim que qualquer mudança de fabricação implica em uma nova regulação dos ângulos de ataque dos ultra-sons de cada captador sobre a periferia do tubo. Essa operação delicada, feita manualmente, pode ser comumente da ordem de 30 minutos, tempo durante o qual a produção de tubos é parada. Essas são as condições nas quais é feito atualmente o controle não destrutivo por ultra-sons dos tubos, ou de outros produtos perfilados e/ou com paredes finas, na saída da fabricação.

No domínio do controle não destrutivo por ultra-sons, utiliza-se freqüentemente a seguinte terminologia:

10 - "varredura" (ou scan) designa uma seqüência de posições relativas tubo/captador;

 - "incremento" designa o passo de varredura (inversamente proporcional à freqüência de recorrência ou freqüência de tiros ultra-sonoros);

15 - "Ascan" designa o gráfico da tensão elétrica medida nos bornes de um captador ultra-sonoro, com uma abscissa o tempo de voo e em ordenada uma representação da tensão elétrica, denominada também amplitude ultra-sonora;

20 - "Bscan" designa uma imagem relativa a um valor determinado do incremento, com, em abscissa, a varredura correspondente ao tiro ultra-sonoro, em ordenada o tempo de voo, e em cada ponto a amplitude ultra-sonora convertida em degradado de cinza;

 - "ecodinâmica" designa um gráfico com, em abscissa, a indicação do tiro ultra-sonoro e em ordenada a amplitude máxima destacada em um seletor temporal do Ascan para o tiro correspondente;

25 - "Cscan" designa uma imagem com, em abscissa e em ordenada, a posição equivalente em um espaço plano do ponto de tiro da onda ultra-sonora e representando, convertida em degradado cinza, a amplitude ultra-sonora máxima para esse tiro destacada no seletor temporal considerado do Ascan ("amplitude da imagem"). No caso de um tubo, um ponto da abscissa do Cscan corresponde a uma posição sobre o comprimento do tubo e um ponto da ordenada corresponde a uma posição sobre a circunferência do tubo. No caso de um produto chato, um ponto da abscissa do Cscan

30

corresponde a uma posição sobre o comprimento do produto chato e um ponto da ordenada corresponde a uma posição sobre a largura do produto chato.

A figura 6 representa uma vista em corte longitudinal esquemático de um sistema formado de um captador, de sua coluna de água e do tubo, e com ilustração de diferentes trajetos ultra-sonoros, formando ecos. Ela permite compreender bem a complexidade desses trajetos, e a dificuldade da análise.

A figura 6A é um diagrama amplitude/tempo esquemático do sinal ultra-sonoro no nível de um captador que trabalhar sob incidência oblíqua. A partir do instante T_{excit} de excitação do captador, encontra-se um eco de interface água-tubo no instante T_{interf} (que se pode também anotar como $T_{phiExter0}$). São marcados em seguida (traço pontilhado vertical) o instante $T_{phiInter}$ no qual o feixe de ultra-sons atinge o revestimento interno do tubo, onde se reflete e refrata, assim como o instante $T_{phiExter1}$ no qual o feixe de ultra-sons atinge o revestimento externo do tubo. Devido à incidência oblíqua, não há eco refletido significativo que volte ao captador em $T_{phiInter}$ na ausência de imperfeição nesse local. Isto vale também em $T_{phiExter1}$.

A figura 6B é um diagrama amplitude/tempo esquemático do sinal ultra-sonoro no nível de um captador que trabalha sob incidência normal. A cronologia geral dos sinais é a mesma que para a figura 6A (a um fator aproximado, ligado à incidência). Ao contrário, sob incidência normal, há ecos significativos em $T_{phiInter}$ e em $T_{phiExter1}$, mesmo na ausência de imperfeição nos locais referidos do tubo.

Atualmente, os sistemas de controle não destrutivos utilizados em produção de tubos funcionam, fazendo-se a relação K entre:

- a amplitude A_s de um sinal proveniente do tubo a inspecionar,
- e
- a amplitude A_0 do sinal proveniente de um defeito aferição de referência, para o tipo de controle considerado. Esse "defeito aferição de referência" é em geral definido sobre um tubo aferição munido de um defeito

artificial (por exemplo, um entalhe em U ou em V) de características dimensionais escolhidas, por exemplo, de acordo com uma norma de controle não destrutivo, e/ou no caderno de encargos de um cliente.

A hipótese implícita é que essa amplitude de sinal é proporcional à criticidade da imperfeição, isto é, à sua profundidade (DD). O gráfico da figura 7 (bem conhecido do técnico, ver Nondestructive Testing Handbook - capítulo estatísticas do volume 7 publicado pelo ASNT - American Society for Nondestructive Testing) representa a repartição real $K = f(DD)$. Ele mostra que, na realidade, a correlação é muito má (da ordem de 0,3 a 0,4 para o controle por ultra-sons).

Mais precisamente, no gráfico da figura 7, no caso se fixe a amplitude de referência a A_0 ($K = 1$) sobre o valor XL (profundidade da imperfeição máxima aceitável) no centro da distribuição (ela própria eixada sobre o oblíquo TDis), vê-se que se podem ainda encontrar imperfeições com $K = 0,5$ de profundidade DD superior a XL . Segue-se que, por prudência, se é levado a fixar A_0 para um valor nitidamente mais baixo que XL . Por conseguinte, afastam-se em produção tubos que, contudo, seriam na realidade satisfatórios. É tanto mais nefasto, economicamente, do que as técnicas de fabricação de tubos permanecerem bastante pesadas, tanto em complexidade, quanto em necessidades em energia.

A requerente se prendeu, portanto, em melhorar a situação.

A figura 8 representa um dispositivo semelhante àquele da figura 4, mas modificado para a aplicação da invenção.

A saída do amplificador 73 é aplicada em um estágio 761, que numera a amplitude do sinal oriundo do amplificador 73, e trabalha sobre esse sinal numerado. Esse tratamento será descrito a seguir com referência à figura 11. Podem-se, em seguida, conservar estágios 764 e 766 funcionalmente semelhantes àqueles da figura 8. O sinal bruto do captador, tal como visível sobre osciloscópio 750, é denominado A-Scan pelos técnicos. Ele compreende ecos, segundo o esquema definido pela figura 6.

É desejável passar a uma imagieria das imperfeições do tubo, com o auxílio de sinais de ultra-sons. Será descrita a seguir a obtenção de

uma imagem.

Na prática, uma imagem é obtida, considerando-se várias explorações sucessivas do tubo por um captador Px, sob ângulos sucessivos que abrangem sensivelmente uma seção reta do tubo. É possível fazê-lo com
5 tiros sucessivos por um só captador, utilizando a rotação relativa tubo/captador.

Coloca-se aqui, a título de exemplo não limitativo, no caso de uma instalação do gênero dito com cabeça giratória.

Na figura 8A, considera-se um captador Px, que pode ser um
10 dos tipos P1, P11, P12, P21 e P22 pré-citado. No exemplo ilustrado, esse captador Px compreende, na realidade, n captadores elementares Px-1, ..., Px-i,... Px-n, que são alinhados, segundo o eixo longitudinal do tubo, que constituem o objeto de um tiro ultra-sonoro no mesmo momento. Na figura 8A, o que está entre os captadores elementares e as imagens de saída
15 769A e 769B pode ser considerado como um conversor.

O sinal Ascan do primeiro captador elementar Px-1 é aplicado a um amplificador 73-1, seguido de duas vias paralelas: aquela do seletor 761-1A, seguido de um numerador de linha 765-1A, e aquela do seletor 761-1B, seguido do numerador de linha 765-1B.

20 Com base em informações obtidas, quando da passagem do tubo de aferição, o operador captura no seletor 761-1A a informação T_1A correspondente a uma indicação de posição e de largura temporal, que lhe designa, em função da geometria conhecida do tubo, os instantes em que vai encontrar um "eco de revestimento interno", relativo ao interior do tubo,
25 por exemplo, o primeiro eco Int1 da figura 6. A figura 6A mostra mais nitidamente a janela temporal "Int" correspondente, em torno de TphilInter.

Da mesma forma, com base em informações obtidas, quando da passagem do tubo de aferição, o operador captura no seletor 761-1B a informação T_1B correspondente a uma indicação de posição e de largura
30 temporal, que lhe designa, em função da geometria conhecida do tubo, os instantes em que ele vai encontrar um "eco de revestimento externo", relativo ao exterior do tubo, por exemplo, o primeiro eco Ext1 da figura 6. A figura

6A mostra mais nitidamente a janela temporal "Ext" correspondente, em torno de TphiExter.

O esquema se repete para os outros captadores Px-2,...Px-i, ...Px-n.

5 Assim, cada seletor temporal 761 trabalha por janelas temporais, considerando-se o instante de emissão dos ultra-sons, e intervalos de tempo pré-determináveis dos quais se podem esperar ecos referentes a esse seletor. A ilustração das figuras 6 mostra como é possível definir os intervalos de tempo interessantes, considerando-se o ângulo de ataque do feixe de ultra-sons sobre o tubo, assim como o diâmetro (interno ou externo) e a espessura do tubo. Um intervalo de tempo determinado corresponde a um eco determinado em um ponto determinado do tubo, para uma posição relativa determinada entre o tubo e o captador.

15 Para simplificar, admite-se que os instantes de tiros são sincronizados sobre a rotação relativa tubo/captadores, de modo que um captador elementar trabalha sempre sobre a mesma geratriz longitudinal do tubo. A saída de seu seletor fornece, portanto, uma seqüência espaçada de amostras analógicas de sinal, que correspondem, cada um, à amplitude de um eco esperado sobre uma parede do tubo. Essas amostras do captador Px-1 (por exemplo) são numeradas em 765.

20 O sincronismo com a emissão pode ser assegurado por uma ligação (não representada) como emissor 70, ou com seu acionador, o circuito de sincronização 753, ou sua base de tempo 752 (figura 8). A afiação 750 pode ser mantida, caso se deseje. O sistema pode funcionar sobre um tubo giratório à velocidade sensivelmente constante. Nesse caso, a velocidade angular e o avanço do tubo podem ser medidos como auxílio de um codificador angular preciso, por exemplo o modelo RS0550168, fornecido pela sociedade Hengstler, e de um velocímetro laser, por exemplo o modelo LSV 065 fornecido pela sociedade Polytec. O tubo pode também não girar, enquanto que é o sistema de captadores que gira. Nesse caso, o velocímetro laser basta para medir o avanço do tubo, enquanto que a velocidade de rotação dos captadores é conhecida por meio de um codificador angular.

Para um tiro determinado, o conjunto dos captadores Px-1 a Px-n fornece uma linha de uma imagem, que corresponde a uma seção reta do tubo. Na outra dimensão da imagem, um captador elementar determinado fornece uma linha que corresponde a uma geratriz do tubo.

5 Os numeradores 765-1A, 765-2A, ...765-iA, ..., 765-nA permitem encher uma imagem "interna" 769A, relativa ao revestimento interno do tubo. Os numeradores 765-1B, 765-2B, ...765-iB, ..., 765-nB permitem encher uma imagem "interna" 769B, relativa ao revestimento externo do tubo (na saída, traços mistos são utilizados para clarear o esquema).

10 A imagem memorizada em 769A ou 769B, que é um Cscan, tal como definido anteriormente, vale para o captador do grupo de captadores Px considerado. Cada ponto dessa imagem corresponde, transposto em nuances de cinza, a um valor tirado da amplitude do eco, devido ao reflexo do sinal ultra-sons sobre uma imperfeição eventual da zona do tubo considera-

15 do. Esse valor (anotado com K a seguir) pode representar a relação entre a amplitude máxima do sinal ultra-sonoro captado sobre o tubo em curso de teste e a amplitude máxima do sinal ultra-sonoro obtido com um "defeito de aferição de referência" artificial, tal como definido mais acima.

Essa imagem corresponde então a uma zona do tubo, obtida

20 pela reunião das zonas sensivelmente anulares do tubo que correspondem a cada uma das linhas numeradas. Na realidade, trata-se de zonas anulares, caso o feixe de ultra-sons seja aplicado sensivelmente de modo perpendicular ao eixo do tubo. Sabe-se que é feito diferentemente para certos tipos de imperfeições. As zonas são então antes de tudo elípticas e, na realidade,

25 tortas ou "torcidas" no espaço. Na presente descrição, a expressão "zonas anulares" abrange essas diferentes possibilidades.

De ser observado que, para se obter essa reconstituição completa da imagem C-Scan, a informação suplementar de posicionamento do tubo em relação ao captador é necessária. Ela está disponível na entrada

30 separada 740. Essa informação vem de um codificador XYZ ou de um laser XYZ. Como o tubo pode ser assimilado a um cilindro sem espessura, a informação de posição pode ser reduzida a duas dimensões.

Compreende-se que a aplicação da invenção sobre um banco existente de controle por ultra-sons ("UT bench") implica:

- a acessibilidade aos dados brutos de controle por ultra-sons ("UT Raw Data"), que é feita, por exemplo, com o auxílio de um cartão de aquisição, como o modelo NI 6024 série E ou NI 6251 série M da sociedade National Instrument,
- a disponibilidade de uma informação em linha sobre a velocidade de rotação (do tubo ou da cabeça de captadores), e
- a disponibilidade de uma informação em linha sobre a velocidade de avanço do tubo.

O esquema da figura 8A pode ser aplicado:

- em paralelo a um captador de tipo P11 e um captador de tipo P12, que observam a mesma zona do tubo segundo duas direções diferentes. Cada captador vai permitir obter uma imagem interna 769A, e uma imagem externa 769B. Em seguida, uma das imagens poderá ser escolhida em função de um comando anotado com "Int/Ext";

- em paralelo a um captador de tipo P21 e a um captador de tipo P22, que, também vai cada um permitir obter uma imagem interna 769A, e uma imagem externa 769B.

- O esquema da figura 8A pode também ser aplicado a um captador de tipo P1, caso no qual são previstas três vias paralelas atrás de cada amplificador (pelo menos virtualmente). Uma das vias funciona em um intervalo temporal repetitivo posicionado conforme indicado em "Volum" na figura 6B. Essa via permite um controle de imperfeições em volume, isto é, na espessura do tubo.

As duas outras vias podem funcionar respectivamente em intervalos temporais repetitivos posicionados conforme indicado em "WphiExter0" e em "WphiInter1" na figura 6B. Essas duas outras vias permitem uma medição da espessura do tubo.

- A distinção entre as três vias é puramente funcional (virtual). Com efeito, essas duas outras vias podem ser fisicamente a mesma, na qual são discriminados os instantes ou intervalos "WphiExter0" e "WphiInter1".

Pode-se também utilizar uma via física, na qual são discriminados os instantes ou intervalos "WphiExter0", "Volum" e "WphiInter1".

É representativo descrever mais detalhadamente o caso de um captador de tipo P11 com um captador de tipo P12. É o que será feito a seguir.

É lembrado que esses dois grupos de captadores P11 e P12 servem para a descoberta de imperfeições longitudinais sobre os tubos. Por controle ultra-sonoro é realizado com tiros de ultra-sons (US) em duas direções privilegiadas ("clock wise" - "counter clock wise"):

- um captador ou grupo de captadores P11 fornece uma imagem ultra-sonora do tubo em uma direção de trabalho ("clock wise");

- um segundo captador ou grupo de captadores P12 fornece uma imagem ultra-sonora do mesmo tubo em uma outra direção de trabalho ("counter clock wise").

Assim, as imperfeições longitudinais são vantajosamente descobertas com dois captadores ou grupos de captadores, cujos eixos de feixe são inclinados simetricamente em relação a um plano perpendicular ao eixo do tubo. A inclinação é, por exemplo, de aproximadamente $\pm 17^\circ$. Isto fornece um exemplo de aplicação do sistema com dois captadores, ou dos grupos de captadores, tal como mencionado mais acima.

A figura 9 mostra um exemplo de duas imagens 901 e 902 de tipo C-Scan, uma acima da outra, com a mesma referência de tempo. Essas duas imagens são provenientes respectivamente das informações de dois grupos de captadores em situações opostas, no caso os grupos de captadores de tipo P11 e P12 (como variante os grupos de captadores de tipo P21 e P22) e isto para um dos dois casos "interno"/"externo".

As imagens dos blocos 901 e 902 representam o sinal em nível de cinza (na realidade em uma gama de cores). Indicações complementares são afixadas à vontade, cujas imagens complementares:

- 921, que é uma vista da amplitude do sinal, segundo uma linha vertical 911 escolhida na imagem 901;

- 922, que é uma vista da amplitude do sinal, segundo uma linha

vertical 922 escolhida na imagem 902;

- 910, que contém duas curvas, representando o máximo encontrado na vertical correspondente nas imagens 901 e 902, respectivamente.

Será feita a seguir referência à figura 11. Os blocos de imagens 901 e 902 representam as imagens memorizadas para os grupos de captadores P11 e P12, por exemplo, tais como visíveis na figura 9. A imagem 901 foi preparada da maneira ilustrada na figura 8A. O bloco conversor 891 da figura 11 corresponde à montagem da figura 8A, aplicada ao captador P11. Da mesma forma o bloco conversor 892 corresponde ele também à montagem da figura 8A, mas aplicado ao captador P12. Os blocos conversores 891 e 892 utilizam os dados de contexto tubo/captadores do bloco 740. Esses dados são relativos às características do tubo em curso de exame e captadores em curso de utilização. Elas são também transmitidas aos blocos conversores 891 e 892, aos blocos de imagens 901 e 902, assim como ao bloco combinador 960.

Após os blocos 901 e 902 são ilustrados os filtros 921 e 922, que permitem notadamente realizar extratos das imagens, e de seus dados de preparo, como dados de entrada reunidos pelo bloco combinador 960 para o tratamento neural 970, conforme será visto.

No modo de realização descrito, o filtro 921 possui:

- uma saída de sinal Zcur designando uma zona de trabalho na imagem. Essa saída é utilizada por uma função de extração 951 que realiza, em consequência, um extrato da imagem (Csacan) para a zona Zcur, e um acesso ao preparo de uma imagem 891 para aí obter as informações memorizadas (ditas Ascan) relativas à mesma zona Zcur. O conjunto desses dados é transmitido pela função de extração 951 ao combinador 960, como entradas do tratamento neural 970;

- uma saída que fornece informações obtidas por filtragem, determinadas pelo menos relativas à zona Zcur, que ele transmite como entrada do tratamento neural (combinador 960);

- como opção (em tracejado) saídas dos dados complementares para uma memória 990.

O mesmo acontece com o filtro 922, com a função de extração 952, para a mesma zona comum Z_{cur} .

O tratamento neural 970 alimenta uma lógica de decisão e de alarme 992, que comanda um automatismo de tri e marcação 994. Pode ser prevista uma interface de interpretação por um operador 996, a qual pode apresentar total ou parcialmente dados contidos na memória 990, em relação com a parte de tubo em curso de exame.

No caso, a figura 11 trata informações provenientes no mínimo de dois grupos captadores, assegurando a mesma função ou destinados ao mesmo tipo de controle (os dois grupos P11 e P12 ou os dois grupos P21 e P22). O mesmo esquema pode servir para tratar as informações provenientes de um maior número de grupo de captadores destinados a controles de tipo diferente. O número de imagens tratadas ao mesmo tempo é aumentado mais.

A função primária dos filtros 921 e 922 é de determinar zonas de imperfeições nas imagens Cscan 901 e 902. De forma geral, a filtragem é ajustada para marcar as zonas a analisar e aí distinguir as imperfeições das outras indicações. A filtragem trabalha sobre duas partes homólogas das duas imagens da figura 9. Na realidade, os dois filtros trabalham conjuntamente, conforme refletido pela ligação bilateral que os une na figura 11.

Por varredura da imagem numérica, localizam-se inicialmente os locais da imagem onde existem imperfeições potenciais.

Para isso, é possível aplicar um limite fixo estabelecido por aferição.

A requerente prefere atualmente utilizar um limite que se adapta ao nível de ruído em curso na imagem. O método é baseado na teoria da detecção de um sinal em um ruído branco, que pode se basear em duas hipóteses:

Hipótese H_0 : medida = ruído branco de média m_b e de desvio padrão std_b

Hipótese H_1 : medida = sinal + ruído branco.

Procede-se a testes estatísticos, que permitem determinar se se

está no âmbito da hipótese H_0 ou da hipótese H_1 . Esses cálculos estatísticos são feitos em tempo real sobre n pontos deslizantes da imagem correspondente a tiros consecutivos, o número n podendo ser determinado pela aprendizagem.

5 Segundo esse método (caso dito "aditivo gaussiano"), pode-se, por exemplo, aplicar o critério de Neyman-Pearson para determinar um limite de detecção, segundo uma probabilidade de falso-alarme (pfa) determinado. Isto se expressa pela fórmula [21] anexada. Utiliza-se a função cumulativa gaussiana, nomeada em geral Q (ou ainda a função de erro erf), que é preciso inverter para se obter o limite, segundo a fórmula [22] anexada.

10 Na prática, constata-se freqüentemente a presença de ruído de fundo que pode ter várias origens (por exemplo: presença de água no interior do tubo, intumescência elétrica, fenômenos acústicos, devido à estrutura da matéria do produto controlado). O uso de um limite variável evita os falsos alarmes que ocorrem, caso se aplique um limite fixo.

Entre as outras falsas indicações capazes de aparecer, os parasitas se manifestam por picos muito breves no sinal de ultra-sons. Esses parasitas podem ser afastados por algoritmos simples que podem ser denominados algoritmos de contagem cumulativa ou ainda integradores (exemplo: "n batidas antes do alarme" ou "duplo limite").

20 A requerente considerou ainda a "espira" que é o trajeto seguido pelo captador ao longo da superfície cilíndrica, à qual o tubo é assimilado. Uma filtragem pode ser feita ao longo de cada espira para ainda reduzir a taxa de falsos alarmes. Utiliza-se para isso, por exemplo, um filtro de Butterworth, e/ou uma transformada de Fourier discreta, tal como uma transformada de Fourier rápida. Essa técnica é aplicada a cada linha numérica.

O mesmo gênero de algoritmo pode ser aplicado no sentido do comprimento do tubo.

30 Assim, imperfeições potenciais são localizadas. Quando uma imperfeição é marcada, sua posição corresponde à posição analisada nas imagens da figura 9 (por exemplo). Essa imagem 2D corresponde a uma ampliação do tubo, assimilado a um cilindro sem espessura. As indicações

de posição radial/espessura (ou mais simplesmente de situação interna, externa ou em massa da imperfeição) podem ser representadas como atributos dos pontos da imagem. Ter-se-á assim:

- 5 - duas imagens 2D representando as imperfeições eventuais no revestimento externo do tubo;
- duas imagens 2D representando as imperfeições eventuais no revestimento interno do tubo;
- uma imagem 2D representando as imperfeições eventuais na espessura do tubo.

10 Consideram-se então as imperfeições "confirmadas", após eliminação dos parasitas e dos falsos alarmes, notadamente.

Na seqüência, a requerente escolheu atualmente trabalhar sobre uma zona de imagem de tamanho fixo. É preciso, portanto, envolver essa zona sobre os dados de existência de imperfeição que se quer obter.

15 Em outros termos, ocorre o posicionamento dos pontos marcados como sendo superiores ao limite para determinar a zona completa em torno de uma imperfeição. É uma necessidade, por exemplo, caso se queira determinar a obliquidade de uma imperfeição.

O algoritmo se articula em torno de diferentes etapas:

- 20 - detecção de contorno (gradiente de Roberts, por exemplo);
- dilatação (reunião dos contornos próximos);
- erosão, depois fechamento, o que permite determinar uma máscara em torno das imperfeições;
- uma última etapa de envolvimento permite localizar completa-
- 25 mente a imperfeição.

Para cada imperfeição, são obtidas assim as coordenadas da zona de imagem correspondente, que serão úteis para a análise por rede de neurônios que intervém em seguida.

30 A figura 12 ilustra esse tratamento das zonas de imagem sob a forma de um diagrama de fluxo.

No começo de imagens (801), tem-se de zero a p zonas de imagem a tratar, como apresentando uma imperfeição confirmada. A operação

803 supõe que existe pelo menos uma primeira zona, a qual serve de zona comum a tratar Zcur em 805. Para essa zona Zcur:

- a operação 807 extrai seletivamente os dados das imagens 901 e 902 que correspondem a essa zona (definida por suas coordenadas na imagem);
- a operação 809 extrai seletivamente os dados que intervieram no preparo das imagens 901 e 902, e que correspondem à zona Zcur. Exemplos desses dados serão dados a seguir;
- a operação 811 realiza o tratamento neural propriamente dito, ao qual se voltará;
- os resultados obtidos para a zona Zcur são memorizados seletivamente em 813, em correspondência de uma designação da zona Zcur;
- o teste 820 procura se existe uma outra zona a tratar na imagem, caso no qual se recomeça em 805 com uma outra zona conforme indicado em 821; caso contrário, o tratamento da ou das imagens em curso é concluído (822).

No caso do tratamento do captador P1, há apenas uma única imagem, o que muda o número de parâmetros de entrada. À parte isto, o tratamento pode ser geralmente o mesmo.

Após a determinação de cada zona de interesse Zcur, a filtragem pode comportar outras funções. Para essas outras funções, a figura 13 ilustra de forma esquemática a interação entre a filtragem e a seqüência das operações ilustradas na figura 11.

A figura 13 é semelhante à figura 11, mas somente para a imagem 901. Ela faz aparecer:

- os elementos de contexto tubo-captadores do bloco 740;
- o extrator 951 encontra os dados para a zona Zcur, na imagem 901 e seu preparo 891;
- um bloco interno/externo 7410, indicando se a imperfeição na zona Zcur considerada está situada no revestimento interno ou no revestimento externo.

O que a filtragem acrescenta aos dados de base é definido, além

dos detalhes a saber, para cada zona Zcur (bloco 805), conforme indica o conteúdo do âmbito em tracejado:

- uma pesquisa do ângulo de obliquidade em 931,
- uma indicação de comprimento de imperfeição 932.

5 Pode ainda se acrescentarem, notadamente:

- uma indicação de alinhamento em C-scan, em 935, e
- em 936, uma indicação sobre a existência de outras imperfeições na mesma seção reta do tubo.

10 No modo de realização descrito, os dados tais como 935 e 936 vão para a memória 990. O resto vai para as redes neurais 970. Estas são no caso separadas em duas funções, conforme será visto a seguir:

Circuitos neurais

15 Uma imperfeição em um tubo pode ser definida por sua posição, seu tipo e sua gravidade freqüentemente assimilada à sua profundidade. No modo de realização descrito, o tipo e o grau de profundidade de uma imperfeição de tubo são determinados separadamente com o auxílio de dois processos neurais de mesma estrutura geral, que será detalhada a seguir em um exemplo.

20 O caso do tipo da imperfeição é tratado segundo a figura 14, enquanto que o caso da gravidade é tratado segundo a figura 15.

25 Os tipos podem ser definidos, por exemplo, como ilustrado nas figuras 10A a 10D. Essas figuras ilustram quatro tipos, constituindo uma escolha simplificadora em relação à lista das imperfeições fornecidas pelo API e podendo ser produzidas pelos processos de elaboração do tubo. Os intitulados em francês e em inglês são aqueles utilizados pelos técnicos para designar a natureza das imperfeições. Observa-se que as imperfeições dos tipo 1 e 3 são retas, aquelas das figuras 2 e 4 arqueadas (a "chord")

Uma correspondência entre as imperfeições reais e os quatro tipos acima pode ser definida conforme a seguir:

Nome em Francês	Nome em inglês	Aferição
Entalhe	Notch	Tipo 1
ruptura	Crack	Tipo 1
junção/dobra perpendicular ou reta (laminação)	Seam (perpendicular)	Tipo 1
junção/dobra (laminação)	Seam (arcuate), "overlap"	Tipo 2
fenda	sliver	Tipo 3
Origem esfera	Rolled-in-slug	Tipo 4
Goiva	Gouge	Tipo 4
Inclusão	Inclusão	Tipo 4
Falta de matéria ("desfornecido")	Bore-slug	Tipo 4
Sobreposição/documento/dobra	Lap	Tipo 4

No caso, as figuras 14 e 15 utilizam ambas circuitos neurais com três neurônios intermediários (ou "neurônios ocultos"), anotados com NC121 a NC123 para a figura 14, e NC141 a NC143 para a figura 15.

As figuras 14 e 15 têm em comum um certo número de entradas.

- 5 Para tentar facilitar compreensão, as entradas são ilustradas por tipos de traços diferentes. Os traços duplos indicam que as entradas são múltiplas, isto é, repetidas para cada ponto da zona Zcur.

10 Inicialmente, em 7410 provém, de acordo com o estado considerado dos seletores 761 referidos, uma informação indicando se se trata de tratar uma imperfeição situada no revestimento interno ou no revestimento externo da parede do tubo.

A segunda categoria de grandezas de entrada comuns compreende as grandezas de contexto que vêm do bloco 740 (figura 13):

- 15 - em 7401, WT/OD, que é a relação da espessura da parede no diâmetro do tubo;
- em 7402, Freq, que é a frequência de trabalho das sondas com ultra-sons;
- em 7403, ProbDiam, que é o diâmetro útil das sondas com ultra-sons.

20 A terceira categoria de grandezas comuns compreende quantidades oriundas da filtragem que podem ser consideradas como comuns aos dois captadores 921 e 922 (ou mais). Faz-se, por exemplo, a média dos re-

sultados sobre os dois captadores ou considera-se o resultado mais representativo (máximo/mínimo, conforme o caso). Essas quantidades são as grandezas em 9201, a obliquidade do defeito, e em 9202, seu comprimento. Essas duas grandezas são facilmente recuperáveis nas duas imagens da figura 9, que têm a simetria espelho.

É feita então referência à figura 14 somente. A categoria seguinte de grandezas compreende grandezas de medidas distintas para cada um dos dois captadores (ou grupo de captadores), e para cada uma das zonas Zcur o que é refletido no desenho pelo uso em traço duplo.

Para um primeiro captador, tem-se:

- em 9511, K1, que é a relação entre a amplitude máxima do sinal ultra-sonoro encontrado na zona Zcur e na imagem 901, em relação à amplitude máxima do "defeito aferição de referência" pré-citado. Na realidade, no exemplo, a amplitude em cada pixel da imagem 901 é definida por essa relação; K1 é então simplesmente o máximo de amplitude encontrado na zona Zcur da imagem 901; anota-se Pmax1 o ponto da zona Zcur onde esse máximo é encontrado;

- em 9512, QBE1 que é uma grandeza do C-scan dita Quant-BumpsEchodyn, representando o número de máximos locais encontrados na zona Zcur da imagem 901 nas proximidades do ponto Pmax1 de amplitude máxima. Esse número QBE1 é limitado aos máximos locais entrados nas proximidades de Pmax1, de ambos os lados, mas sem que a amplitude do sinal seja descida aquém de um nível correspondente ao ruído de fundo. QBE1 vai geralmente assumir seja o valor 1, seja o valor 2.

Essas duas grandezas provêm da imagem 901, via o extrator 951, o que reflete a anotação 951(901) no desenho. A isso se acrescenta:

- em 9518, RT1 que é uma grandeza que representa o tempo de subida do eco no sinal ultra-sonoro nativo dito A-Scan, (trata-se do desvio entre o momento em que o sinal é máximo e o último momento anterior em que o sinal está no nível do ruído de fundo, expresso comumente em microssegundos). Essa grandeza RT1 foi anteriormente medida na saída do amplificador 73 referido (figura 8A); ela foi armazenada, por exemplo, em 891, em

correspondência ao ponto do tubo a que ela se refere. Assim é que ela pode ser recuperada seletivamente pelo extrator 951.

Para o segundo captador, tem-se:

- em 9521, K2, que é definido como K1, mas para a imagem 902, ao invés da imagem 901. No exemplo, K2 é simplesmente o máximo de amplitude encontrado na zona Zcur da imagem 902; anota-se como Pmax2 o ponto da zona Zcur onde esse máximo é encontrado;

- em 9522, QBE2 é definido como QBE1, mas na imagem 902 ao invés da imagem 901, e nas proximidades de Pmax2. Também, QBE2 vai geralmente assumir seja o valor 1, seja o valor 2.

Essas duas grandezas provêm das imagens 902, via o extrator 952. A isso se acrescenta:

- em 9528, RT2 que é uma grandeza que representa o tempo de subida do eco no sinal nativo dito A-Scan. Conforme anteriormente, essa grandeza RT2 foi anteriormente medida na saída do amplificador 73 referido (figura 8A); ela foi armazenada, por exemplo, em 892, em correspondência ao ponto do tubo a que ela se refere. Assim é que ela pode ser recuperada seletivamente pelo extrator 952.

A última entrada 958 da rede neural é um valor constante, anotado como ConstantA, que representa uma constante determinada, quando do escoramento do modelo e resultante da aprendizagem.

A saída 998 da figura 14 é uma grandeza indicativa do tipo da imperfeição e sua inclinação média (definida em função do tipo).

O caso do grau de profundidade (ou gravidade) da imperfeição é tratado segundo a figura 15. As entradas são as mesmas que para a figura 14, salvo:

- para o primeiro captador, o bloco 9512 é substituído por um bloco 9513, que trata uma grandeza EW_1, ou EchodynWidth, que é a largura à meia altura (50%) da forma de onda ecodinâmica, para esse primeiro captador. Essa grandeza EW_1 é tirada do Cscan;

- da mesma forma, para o segundo captador, o bloco 9522 é substituído por um bloco 9523, que trata a grandeza EW_2, ou EchodynWid-

th, que é a largura à meia altura (50%) da forma de onda ecodinâmica, para esse segundo captador;

- em 959, a constante, anotada então como ConstantB, é diferente;

5 - a saída 999 é uma indicação de gravidade de imperfeição, anotada com DD.

Anota-se que, nos dois casos (figuras 14 e 15), um circuito neural 970 determinado trata um extrato de imagem 951 para um dos grupos de captadores ultra-sonoros, assim com um extrato de imagem 952 correspondente à mesma zona, mas proveniente de um outro grupo de captadores.

A requerente observou que era possível obter resultados muito satisfatórios, sob reserva de um ajuste conveniente dos parâmetros dos circuitos neurais, e eventualmente de seu número, para otimizar a predição.

15 Além disso, a requerente constatou que, por combinação das informações coletadas pelas diferentes redes de neurônios, era possível afinar ainda a predição.

Globalmente, os parâmetros de entrada da rede de neurônios são então característicos das duas imagens (relação da amplitude max em relação à amplitude da aferição, largura de eco, orientação do eco representativo da obliquidade da imperfeição...) e do controle (captador, dimensões do tubo...).

Os parâmetros de saídas são as características da imperfeição (profundidade, inclinação/tipo). A decisão e/ou alarme (992) pode ser considerada automaticamente com o auxílio de critérios de decisão escolhidos, à base de limites, oriundos de uma margem de segurança, segundo as necessidades. Para definir esses limites, é possível se auxiliar com os resultados da aprendizagem.

Foi então feita referência à figura 16 que é um modelo do circuito neural elementar das figuras 14 ou 15, para dois captadores.

30 Esse modelo compreende um nível ou camada de entrada IL ("Input Layer"), que agrupa todos os parâmetros de entrada (freqüentemente denominados "neurônios de entrada"). Para não sobrecarregar a figura, fo-

ram representados somente três neurônios E1 a E3, mais uma constante, que pode ser considerada também como um neurônio E0. Essa constante é mais freqüentemente denominada "meio". Na prática, os neurônios de entrada são mais numerosos, de acordo com a figura 14 ou a figura 15, conforme o caso.

Em seguida é previsto pelo menos um nível ou camada HL ("Hidden Layer" ou "camada oculta"), que compreende k neurônios (dos quais somente 2 estão representados para não sobrecarregar o desenho).

Enfim, vem o neurônio de saída S1, que fornece a decisão, sob a forma de um valor representativo da importância de uma imperfeição do tubo, por exemplo, uma imperfeição longitudinal. Essa saída corresponde ao bloco 998 na figura 14 e 999 na figura 15.

Anotar-se-á que o "neurônio" - constante E0 intervém para ponderar não somente a(s) camada(s) oculta(s) HL, mas também o neurônio de saída (camada OL ou "Output Layer").

O comportamento geral de um circuito neural, tal como utilizado no caso é dado pela fórmula [11] do anexo I, no qual W_{ij} é o peso afetado ao sinal X_i presente à entrada do neurônio j.

No circuito previsto no caso, um neurônio elementar se comporta segundo a fórmula [12], conforme será esquematizado na figura 17.

A saída SI da figura 16 fornece um valor estimado que corresponde à fórmula [13] do anexo 1.

Por aprendizagem, a requerente ajustou os neurônios ocultos e seu peso de modo que a função f seja uma função não linear, contínua, derivável e boa. O exemplo atualmente preferido é a função arco-tangente.

Sabe-se que uma rede neural determina seus coeficientes W_{ij} comumente denominados sinapses por aprendizagem. Essa aprendizagem deve fazer intervir tipicamente 3 a 10 vezes mais exemplos do que o peso a calcular, abrangendo corretamente a faixa das condições de trabalho desejadas.

Partindo de exemplos E_p ($p = 1$ a M), determina-se, para cada exemplo o desvio D_p entre o valor S_p determinado pelo circuito neural e o

valor real R_p medido ou definido experimentalmente. É o que lembra a fórmula [14].

A qualidade de funcionamento do circuito neural é definida por uma grandeza global de desvio C_g , dita "custo". Ela pode ser expressa, por exemplo, segundo a fórmula [15], como uma grandeza global de desvio quadrático ponderado.

A aprendizagem apresenta diferentes problemas em um caso como aquele do controle das imperfeições nos tubos, notadamente devido ao fato de se tratar de técnicas pesadas, conforme indicado.

A requerente inicialmente fez uma primeira aprendizagem sobre simulação. Pode-se utilizar para isso o programa CIVA desenvolvido e comercializado pelo Comissariado da Energia Atômica, França. Essa primeira aprendizagem permitiu marcar os parâmetros influentes, e construir uma primeira versão da rede de neurônios com base em imperfeições virtuais. A função de custo foi otimizada.

A requerente fez em seguida uma segunda aprendizagem, combinando os resultados obtidos sobre simulação e imperfeições artificiais, isto é, criadas intencionalmente sobre tubos reais. Essa segunda aprendizagem permite construir uma segunda versão da rede de neurônios, cuja função de custo foi também otimizada.

A requerente combinou em seguida os resultados obtidos sobre imperfeições artificiais e sobre um conjunto de imperfeições presentes sobre tubos reais, essas imperfeições sendo conhecidas com precisão por medidas feitas a posteriori fora da cadeia de fabricação. Essa terceira fase permitiu validar a última versão da rede de neurônios. Essa versão se mostrou operacional para o controle em fabricação. Todavia, quando de sua implantação sobre uma instalação nova ou modificada, convém atualmente fazer sofrer um "escoramento", com o auxílio de uma dezena de amostras artificiais abrangendo o conjunto da faixa de imperfeições a tratar. Segue-se naturalmente uma otimização.

As figuras 11, 12, 14, 15 foram descritas no âmbito dos captadores P11 e P12.

O mesmo princípio pode ser aplicado ao grupo de captadores P1. Nesse caso, não haverá imagem 2 e a rede constrói pelo menos parâmetros de entrada conforme já indicado. Os circuitos descritos para dois captadores podem ser utilizados para um só, mas sem parâmetros de entrada para a parte "imagem 2".

O mesmo princípio pode ser aplicado também aos dois grupos de captadores P21 e P22, encarregados de detectar as imperfeições transversais, considerando-se o fato de os captadores serem para essa detecção inclinados (por exemplo, de $\pm 17^\circ$) em um plano que passa pelo eixo do tubo.

Compreender-se-á que, em cada caso, intervém um tratamento numérico do tipo definido pela figura 11, elementos 992 a 996 excetuados. Esse tratamento é globalmente designado por 761, de acordo com a figura 8. No qual é seguido dos blocos 764 e 766.

Obtém-se assim um conjunto, tal como representado pela figura 18, com:

- para o captador P1, um tratamento 761-1, seguido de uma fase de decisão e alarme 764-1;

- para os captadores P11 e P12, um tratamento 761-10, seguido de uma fase de decisão e alarme 764-10;

- para os captadores P21 e P22, um tratamento 761-20, seguido de uma fase de decisão e alarme 764-20;

- as três fases 764-1, 764-10 e 764-20 sendo interpretadas conjuntamente pelo autômato de tri e de alarme 766.

Uma variante da figura 18, não representada, consiste em prever apenas uma única fase "decisão & alarme", utilizando diretamente as saídas dos três tratamentos 761-1, 761-10 e 761-20.

O controle não destrutivo propriamente dito é feito "oportuna-mente", isto é, à medida que o tubo passa na instalação de controle. A decisão oriunda do tratamento das informações descrito mais acima pode ser considerada ela também à medida que o tubo passa na instalação de controle (com decisão - alarme e marcação "oportuna-mente"); uma variante con-

siste em tomar essa decisão, depois que todo o comprimento do tubo tenha sido inspecionado ou mesmo ainda mais tarde (após o controle do conjunto de um lote de tubos, por exemplo), cada tubo sendo marcado/identificado (número de ordem, por exemplo). Nesse caso, é necessário que as informações obtidas sejam registradas (memorizadas). Os registros podem constituir o objeto de uma análise posterior por um operador habilitado a tomar uma decisão, após ter analisado os resultados registrados e tratados pela(s) rede(s) de neurônios.

5 Naturalmente, considerando-se propriedades dos circuitos neurais, é possível agrupar pelo menos parcialmente o conjunto dos circuitos neurais (contidos nos tratamentos 761-1, 761-10 e 761-20) em um único circuito neural, tendo todas as entradas desejadas.

O modo de realização descrito utiliza diretamente redes neurais. A invenção não está limitada a esse gênero de realização. No caso, a expressão "disposição do gênero circuito neural" pode abranger outras técnicas de estatísticas não lineares, com ou sem circuitos neurais.

15 O sistema no caso proposto foi descrito no caso do controle não destrutivo, quando da fabricação de tubo sem soldadura, caso no qual a invenção se aplica particularmente bem. As mesmas técnicas podem ser aplicadas notadamente a produtos siderúrgicos longos não necessariamente tubulares.

No caso de tubos soldados e outros produtos (como, por exemplo, chapas ou placas), o sistema se mostra capaz de determinar, além disso, os limites do cordão de soldadura e, por conseguinte, localizar as eventuais imperfeições no cordão de soldadura, que podem ter de serem controladas. Por sua vez, as imperfeições situadas fora dos limites do cordão de soldadura, que podem corresponder a inclusões já presentes na folha (ou produto de base), devem ser consideradas diferentemente.

Anexo 1

Seção 1

$$Y_i = F \left(\sum_j w_{ij} X_i \right) \quad (11)$$

$$S_1 = F \left(\sum_{i=1}^N E_i w_i + w_0 \right) \quad (12)$$

$$S = \sum_{i=1}^k S_i w'_i + w'_0 \quad (13)$$

$$D_p = S_p - R_p \quad (14)$$

$$Cg = \frac{\sum_{p=1}^M D_p^2}{2 M} \quad (15)$$

Seção 2

$$pfa = \int_{\text{limite}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \, std_b} e^{-\frac{x-m_b^2}{2 \, std_b^2}} dx = Q \left(\frac{\text{Limite } m_b}{std_b} \right) \quad (21)$$

$$\text{limite } l = std_b Q^{-1}(pfa) + m_b \quad (22)$$

REIVINDICAÇÕES

1. Dispositivo que forma ferramenta auxiliar na exploração, para o controle não destrutivo, em curso ou na saída de fabricação, de produtos siderúrgicos, tais como tubos ou outros produtos longos, essa ferramenta é destinada a colher informações sobre eventuais imperfeições do tubo, a partir de sinais de retorno que captam (73) consecutivamente à excitação seletiva (70) de captadores ultra-sonoros emissores, segundo uma lei de tempo escolhida, captadores ultra-sonoros receptores, formando uma disposição de geometria escolhida, montada em acoplamento ultra-sonoro com o tubo por intermédio de um meio líquido, com movimento relativo de rotação/translação entre o tubo e a disposição de transdutores,

essa ferramenta auxiliar sendo caracterizada pelo fato de compreender:

- um conversor (891; 892), capaz de isolar seletivamente uma representação numérica de possíveis ecos em janelas temporais designadas, em função do movimento relativo de rotação/translação, e daí tirar uma imagem (901; 902) de imperfeições possíveis no tubo;

- um filtro (921, 922), capaz de determinar, nas imagens (901; 902), zonas de imperfeição presumida (Z_{cur}), assim como propriedades de cada imperfeição presumida;

- um combinador (960), ajustado para preparar entradas numéricas de trabalho, a partir de um extrato (951; 952) das imagens correspondentes a uma zona de imperfeição presumida (Z_{cur}), de propriedades da imperfeição presumida na mesma zona, oriundas do filtro (921; 922) e de dados de contexto (740);

- pelo menos uma disposição do gênero circuito neural (970), que recebe entradas de trabalho oriundas do combinador (960);

- um estágio numérico de decisão e alarme (992), operando sobre a base da saída da disposição do gênero circuito neural (970); e

- um autômato de tri e de marcação (994), ajustado para afastar e marcar tubos decididos não conformes pelo estágio numérico de decisão e alarme (992).

2. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 1, destinado a trabalhar com duas disposições de transdutores ultra-sonoros de geometria escolhida (P11, P12; P21, P22), montados em acoplamento ultra-sonoro, sensivelmente segundo uma simetria espelho da direção de seus feixes ultra-sonoros respectivos, caracterizado pelo fato de essa ferramenta de exploração compreender dois conversores (891, 892) respectivamente consagrados a essas duas disposições de transdutores (P11, P12; P21, P22) e pelo fato de o combinador (960) ser ajustado para operar seletivamente sobre os ecos de revestimento interno ou sobre os ecos de revestimento externo ou sobre os ecos que intervêm na massa do tubo, mas ao mesmo tempo sobre os dados relativos a uma e à outra das duas disposições transdutores.

3. Dispositivo, de acordo com uma das reivindicações 1 e 2, caracterizado pelo fato de o conversor (891; 892) ser ajustado para isolar seletivamente uma representação numérica de possíveis máximos ecos em janelas temporais designadas, correspondendo a ecos de revestimento interno, a ecos de revestimento externo, assim como ecos provenientes da massa do tubo, respectivamente e pelo fato de o combinador (960) ser ajustado para operar seletivamente sobre os ecos de revestimento interno ou sobre ecos de revestimento externo ou sobre os ecos que intervieram na massa.

4. Dispositivo, de acordo com uma das reivindicações precedentes, caracterizado pelo fato de o combinador (960) receber pelo menos uma entrada (9511, 9521) relativa a um extremo de amplitude da imagem na zona de imperfeição presumida.

5. Dispositivo, de acordo com uma das reivindicações precedentes, caracterizado pelo fato de o filtro (921; 922) ser ajustado para produzir, como propriedades de cada imperfeição presumida, sua obliquidade e seu comprimento, enquanto que o combinador (960) recebe entradas correspondentes de obliquidade de imperfeições (931) e de comprimento de imperfeição (932).

6. Dispositivo, de acordo com uma das reivindicações precedentes, caracterizado pelo fato de o filtro (921, 922), o combinador (960) e o cir-

cuito neural (970) e o estágio numérico de decisão e alarme (992) serem ajustados para operarem iterativamente em uma seqüência de zonas de imperfeição presumida (Zcur) determinadas pelo filtro (921; 922).

5 7. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de o filtro (921; 922), o combinador (960) e o circuito neural (970) e o estágio numérico de decisão e alarme (992) serem ajustados para operarem alternativamente sobre o revestimento interno e o revestimento externo do tubo.

10 8. Dispositivo, de acordo com uma das reivindicações precedentes, caracterizado pelo fato de essa disposição do gênero circuito neural compreender:

- um primeiro circuito neural (NC121-NC123) próprio para avaliar a natureza de uma imperfeição dentre uma pluralidade de classes pré-definidas; e

15 - um segundo circuito neural (NC141-NC143) próprio para avaliar a gravidade de uma imperfeição.

9. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelo fato de os dois circuitos neurais terem entradas que diferem por:

20 - uma entrada (9512; 9522) de número de máximos próximos para o primeiro circuito neural; e

- uma entrada (9513; 9523) de largura de eco para o segundo circuito neuronal.

25 10. Dispositivo, de acordo com uma das reivindicações 8 e 9, caracterizado pelo fato de as saídas dos dois circuitos neurais serem combinadas para afinar a predição.

11. Dispositivo, de acordo com uma das reivindicações precedentes, caracterizado pelo fato de a emissão e a recepção dos sinais ultrasonoros serem realizadas toda vez por um mesmo transdutor, para pelo menos uma parte da disposição de captadores.

30 12. Dispositivo de controle não destrutivo de tubo em curso ou na saída de fabricação, caracterizado pelo fato de compreender:

- uma disposição de transdutores ultra-sonoros de geometria

escolhida, montado em acoplamento ultra-sonoro com o tubo por intermédio de um meio líquido, com movimento relativo de rotação/translação entre o tubo e a disposição de transdutores;

- circuitos para excitar seletivamente (70) esses elementos transdutores, segundo uma lei de tempo escolhida, e para coletar (73) os sinais de retorno que eles captam;

- uma ferramenta auxiliar na exploração, de acordo com uma das reivindicações precedentes.

13. Processo de controle não destrutivo de produtos siderúrgicos, tais como tubos ou outros produtos longos, em curso ou em saída de fabricação, compreendendo as etapas a seguir:

a. prever uma disposição de transdutores ultra-sonoros de geometria escolhida, montado em acoplamento ultra-sonoro com o tubo por intermédio de um meio líquido, com movimento relativo de rotação/translação entre o tubo e a disposição de transdutores;

b. excitar seletivamente (70) esses elementos transdutores, segundo uma lei de tempo escolhida;

c. coletar (73) os sinais de retorno que eles captam, a fim de analisar seletivamente esses sinais de retorno (760-766) para daí tirar informações sobre eventuais imperfeições do tubo;

caracterizado pelo fato de compreender, além disso, as seguintes etapas:

d. isolar seletivamente uma representação numérica de possíveis ecos em janelas temporais designadas, em função do movimento relativo de rotação/translação (891; 892), e daí tirar uma imagem (901; 902) de imperfeições possíveis no tubo;

e. filtrar (921; 922) as imagens (901; 902) segundo critérios de filtragem escolhidos, a fim de aí determinar zonas de imperfeição presumida (Zcur), assim como propriedades de cada imperfeição presumida;

- 5 f. formar (960) entradas numéricas de trabalho, a partir de um extrato (951; 952) das imagens correspondente a uma zona de imperfeição presumida (Zcur), de propriedades da imperfeição presumida na mesma zona, oriundas do filtro (921; 922), e de dados de contexto (740);
- g. aplicar as entradas assim formadas (960) em pelo menos uma disposição do gênero circuito neural (970);
- 10 h. tratar numericamente a saída da disposição do gênero circuito neural (970), segundo critérios de decisão escolhidos, para daí tirar uma decisão e/ou um alarme (922); e
- i. afastar e marcar (994) tubos decididos não conformes pela etapa h.

14. Processo, de acordo com a reivindicação 13, no qual:

- 15 - na etapa a, serem previstas duas disposições de transdutores ultra-sonoros de geometria escolhida (P11, P12; P21, P22), montados em acoplamento ultra-sonoro sensivelmente segundo uma simetria espelho da direção de seus feixes ultra-sonoros respectivos, caracterizado pelo fato de as etapas d. a i. serem conduzidas conjuntamente sobre os sinais oriundos de uma e outra dessas duas disposições de transdutores.

20 15. Processo, de acordo com uma das reivindicações 13 e 14, caracterizado pelo fato de:

- 25 - na etapa d., essas janelas temporais designadas compreenderem determinadas pelo menos das janelas do grupo correspondentes a ecos de revestimento interno, a ecos de revestimento externo, assim como ecos provenientes da massa do tubo.

16. Processo, de acordo com uma das reivindicações 13 a 15, caracterizado pelo fato de:

- 30 - na etapa e., os critérios de filtragem compreenderem pelo menos um critério de existência de imperfeição, um critério de obliquidade de imperfeição e um critério de comprimento de imperfeição.

17. Processo, de acordo com uma das reivindicações 13 a 16, caracterizado pelo fato de:

- as etapas f., e g. serem repetidas iterativamente para cada imperfeição detectada na etapa e.

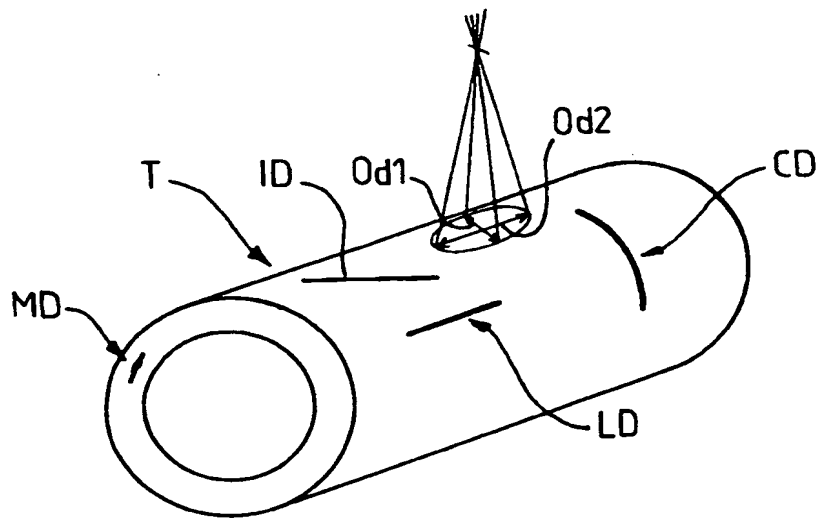


FIG.1

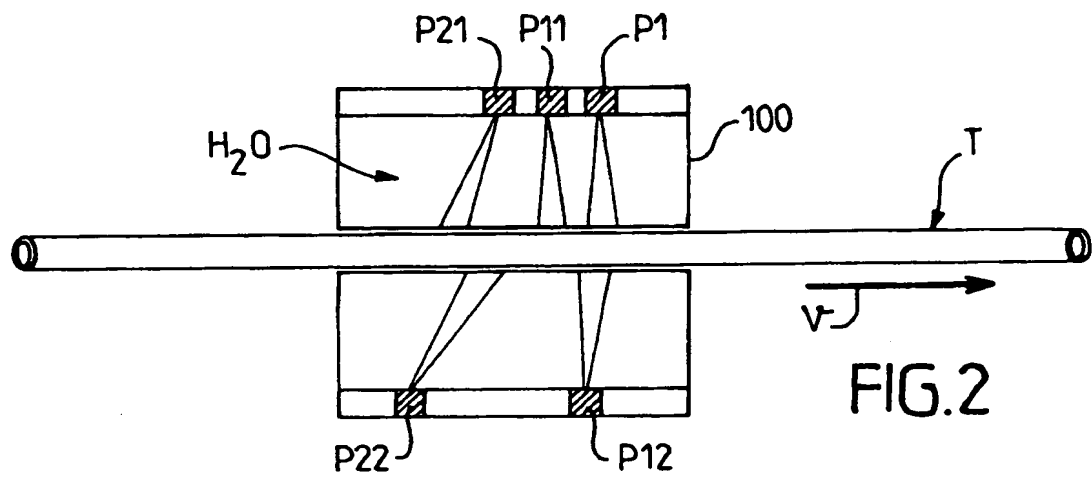


FIG. 2

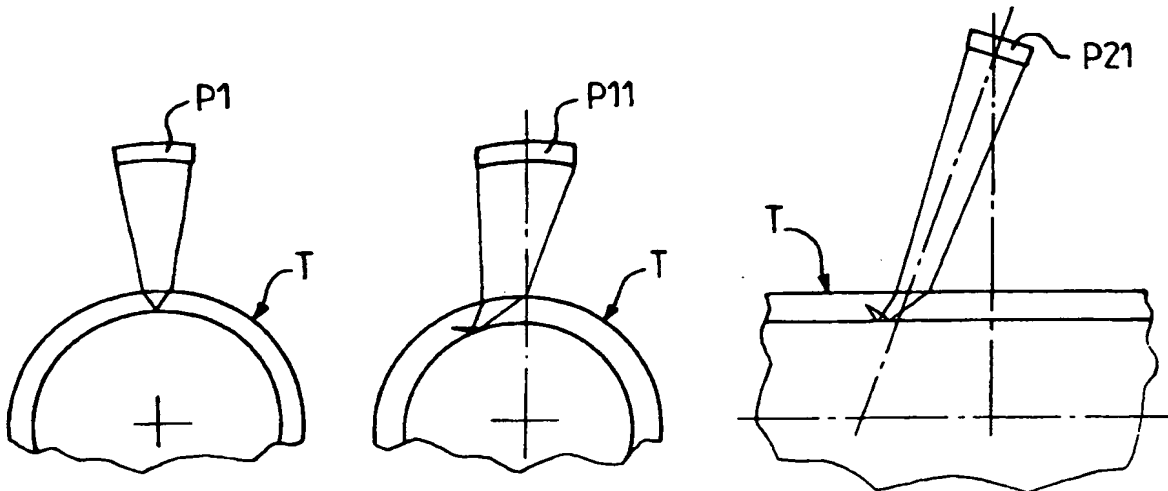


FIG. 3A

FIG. 3B

FIG. 3C

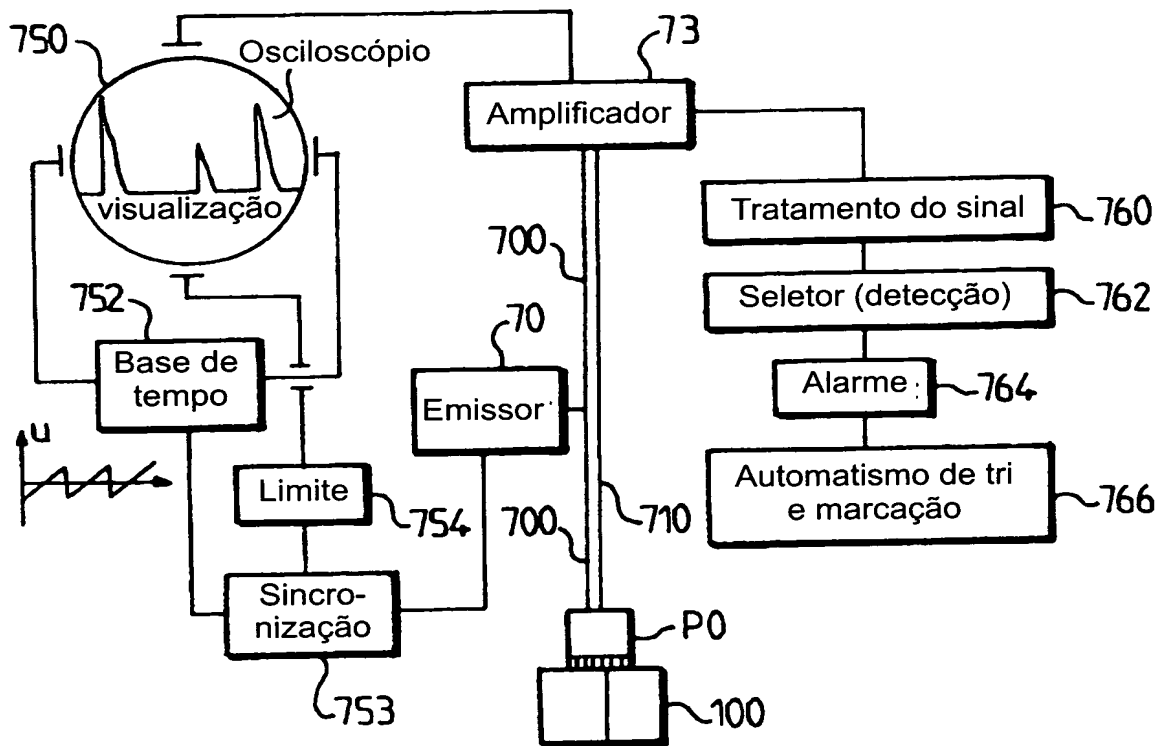


FIG. 4

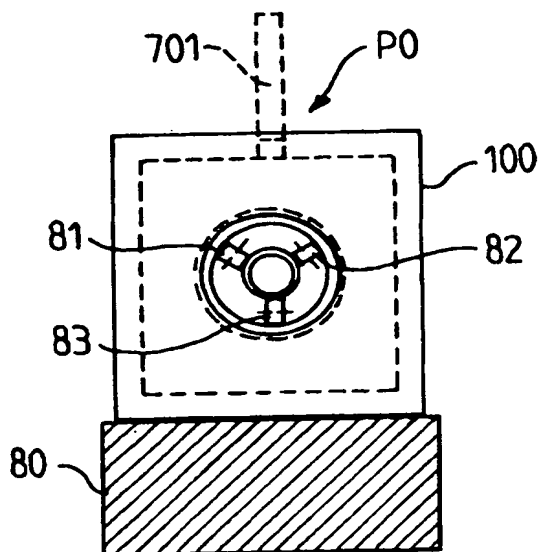


FIG. 5A

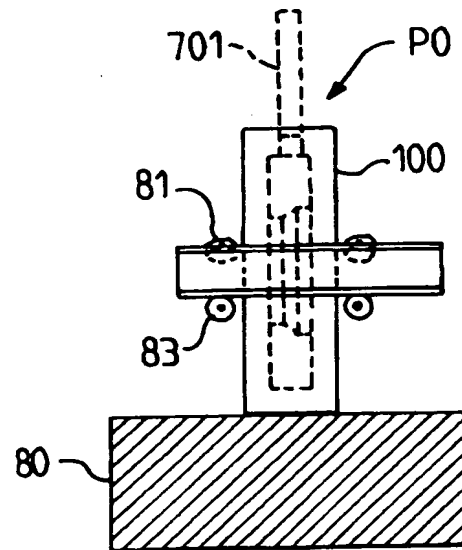


FIG. 5B

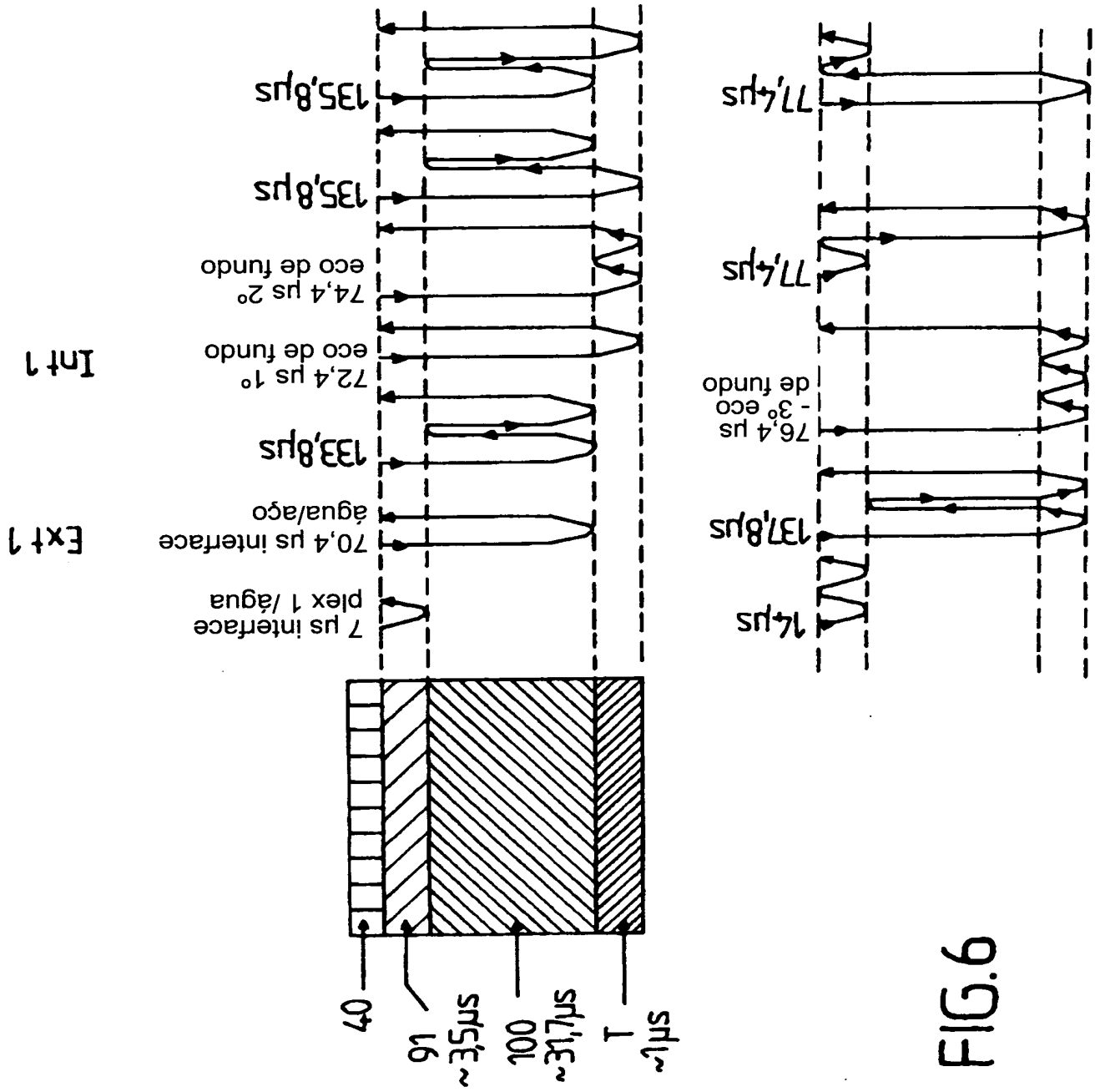


FIG.6

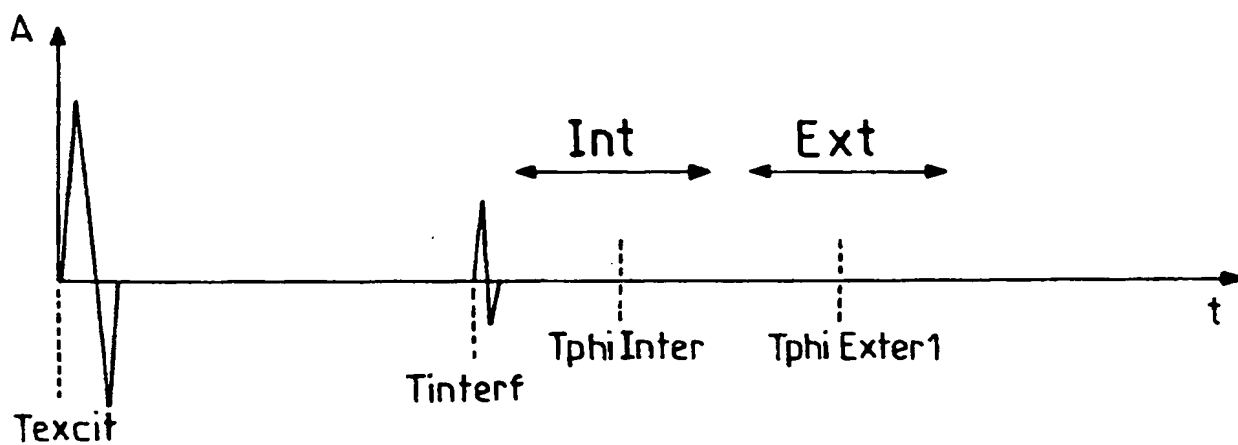


FIG. 6A

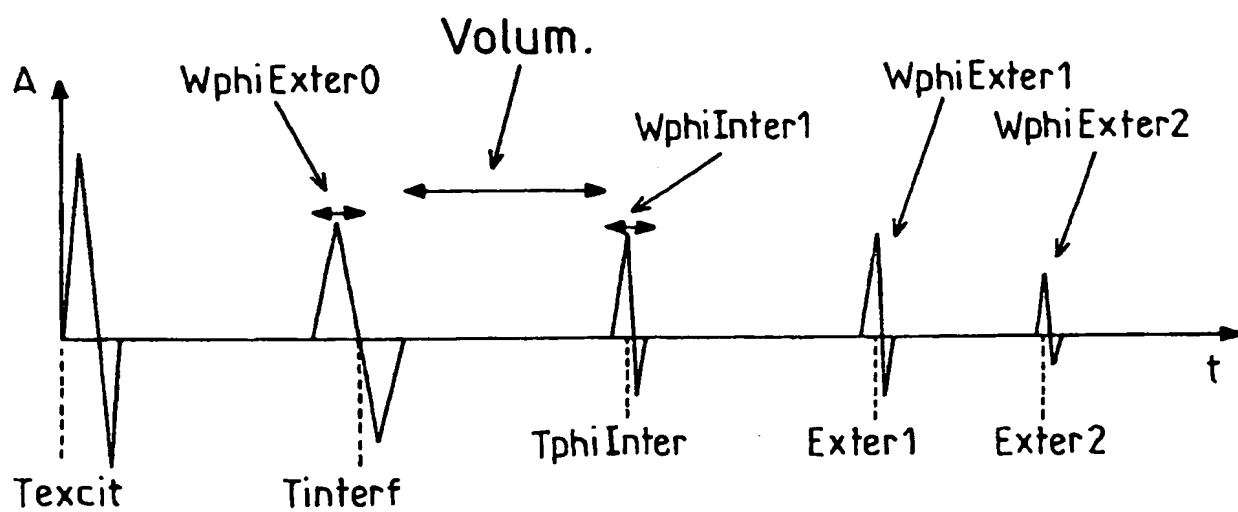


FIG. 6B

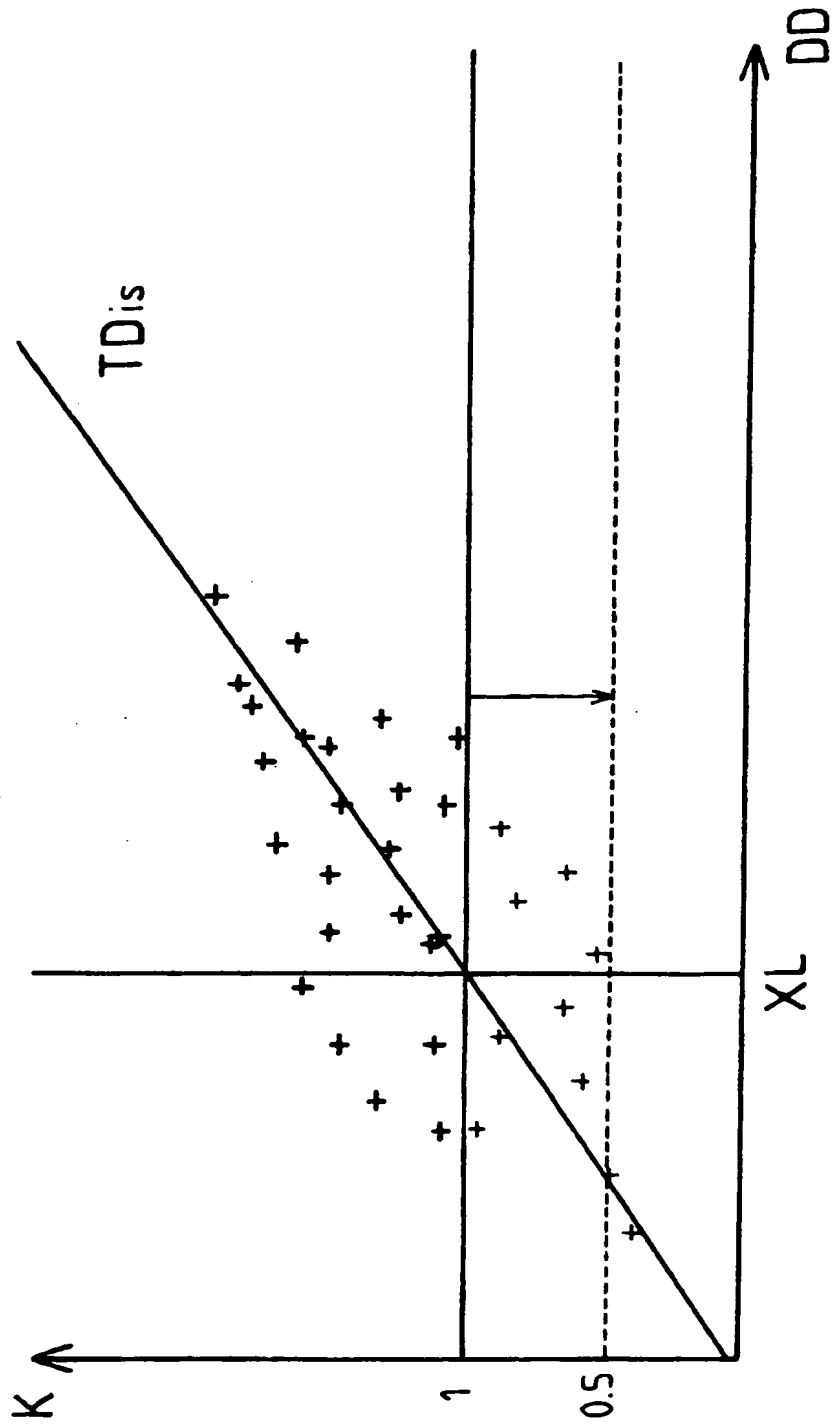


FIG.7

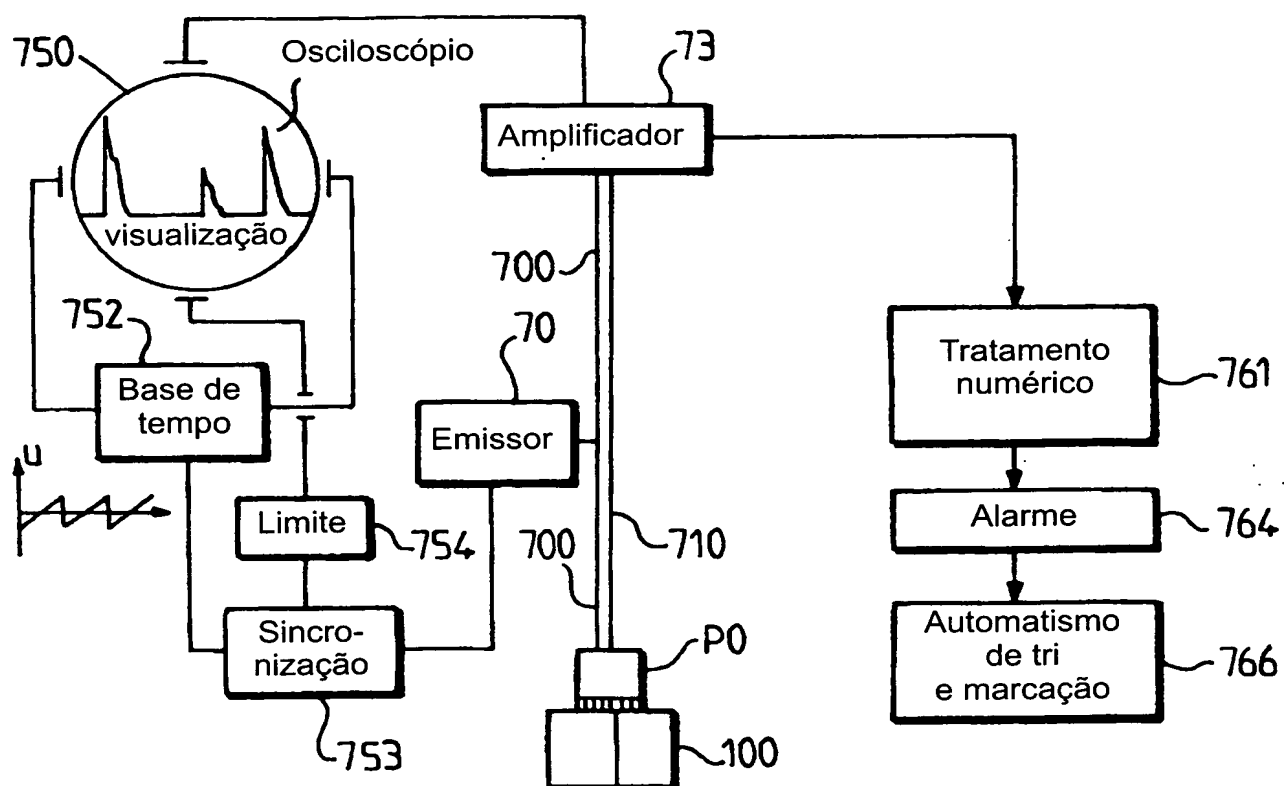


FIG.8

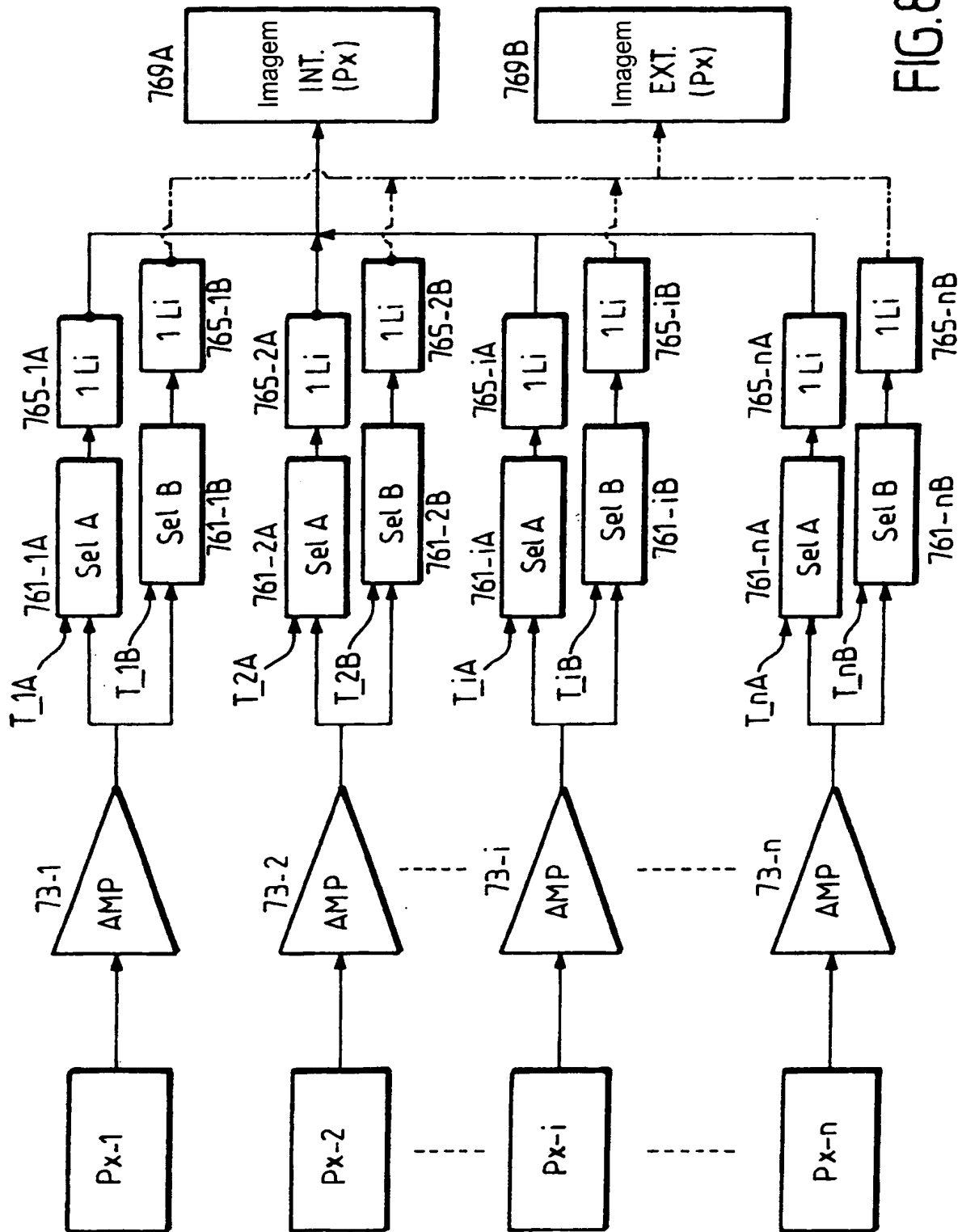


FIG. 8A

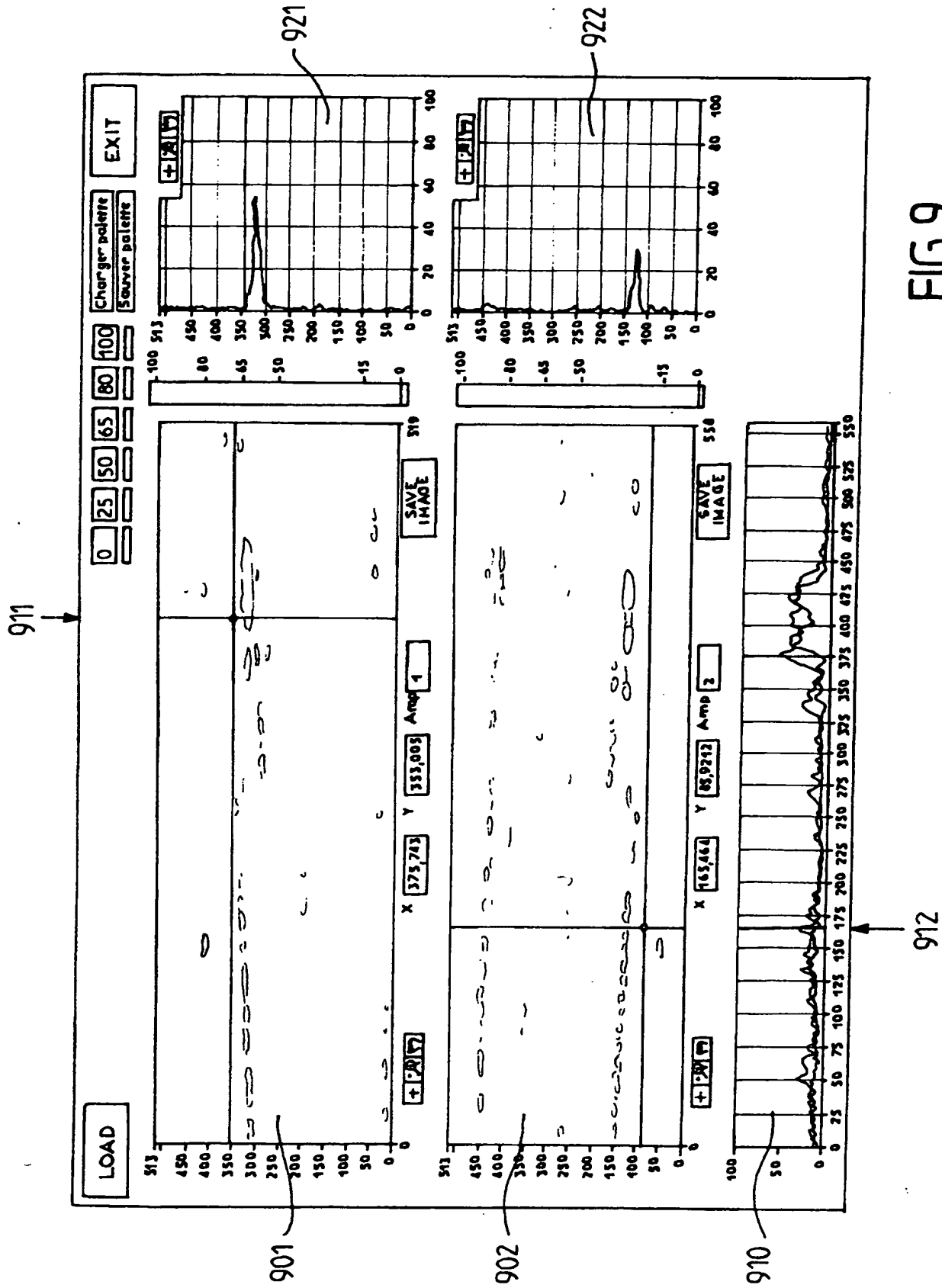


FIG. 9

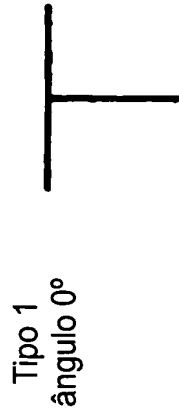


FIG.10A

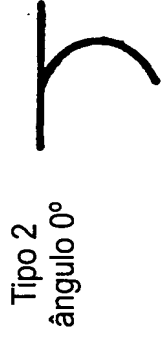


FIG.10B

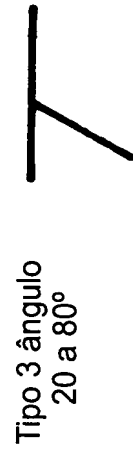


FIG.10C

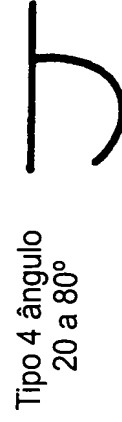
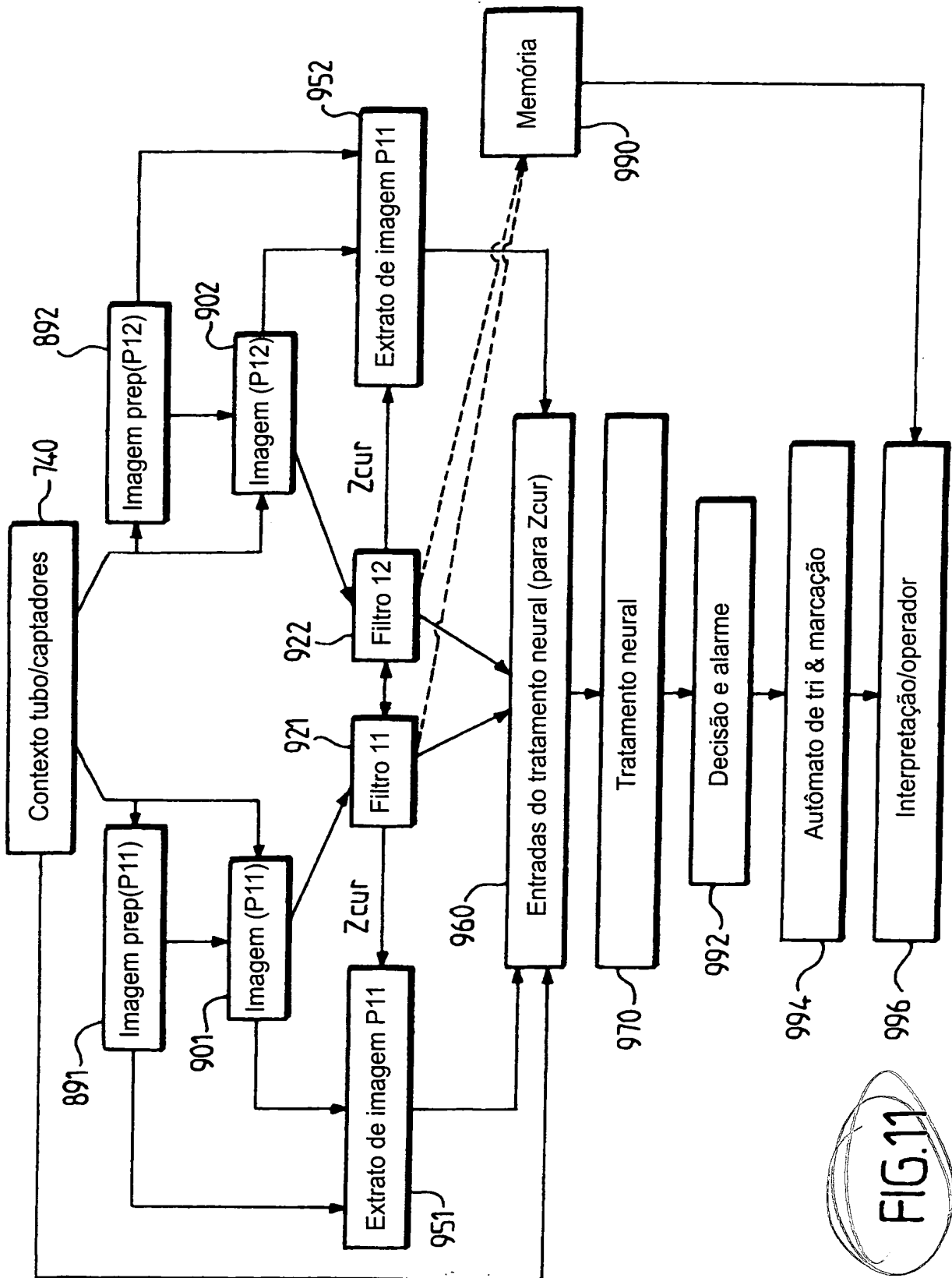


FIG.10D



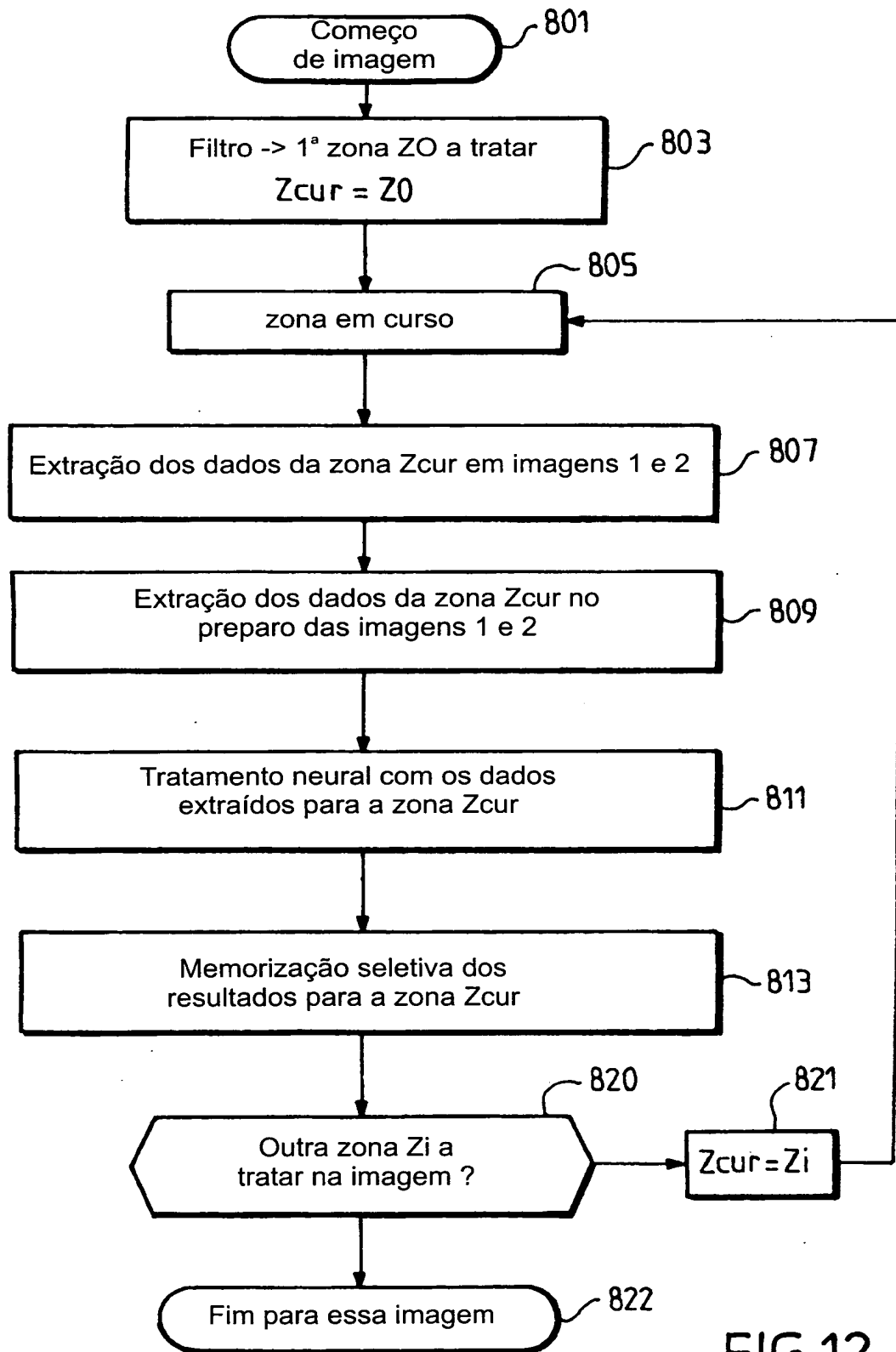


FIG.12

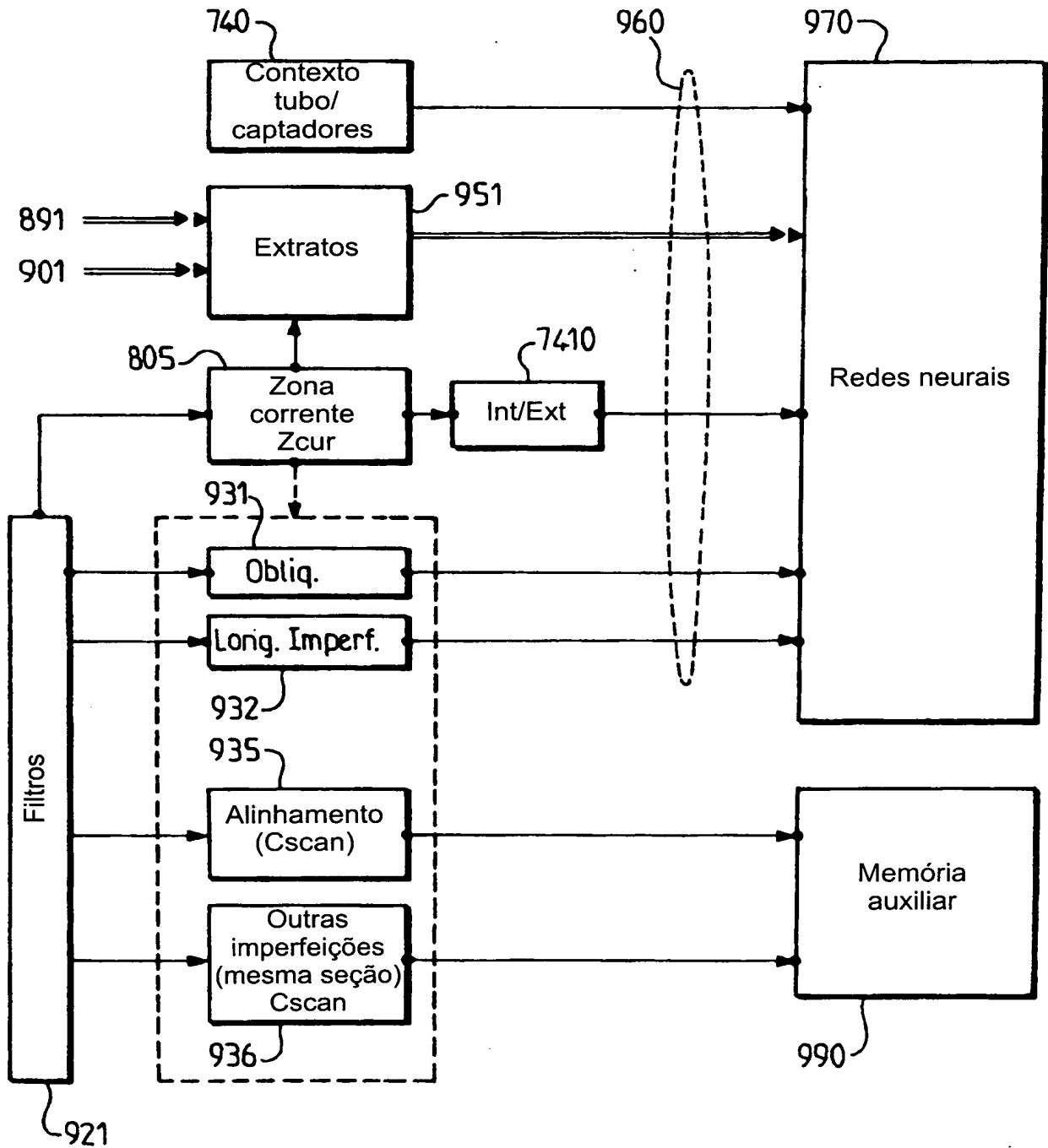


FIG.13

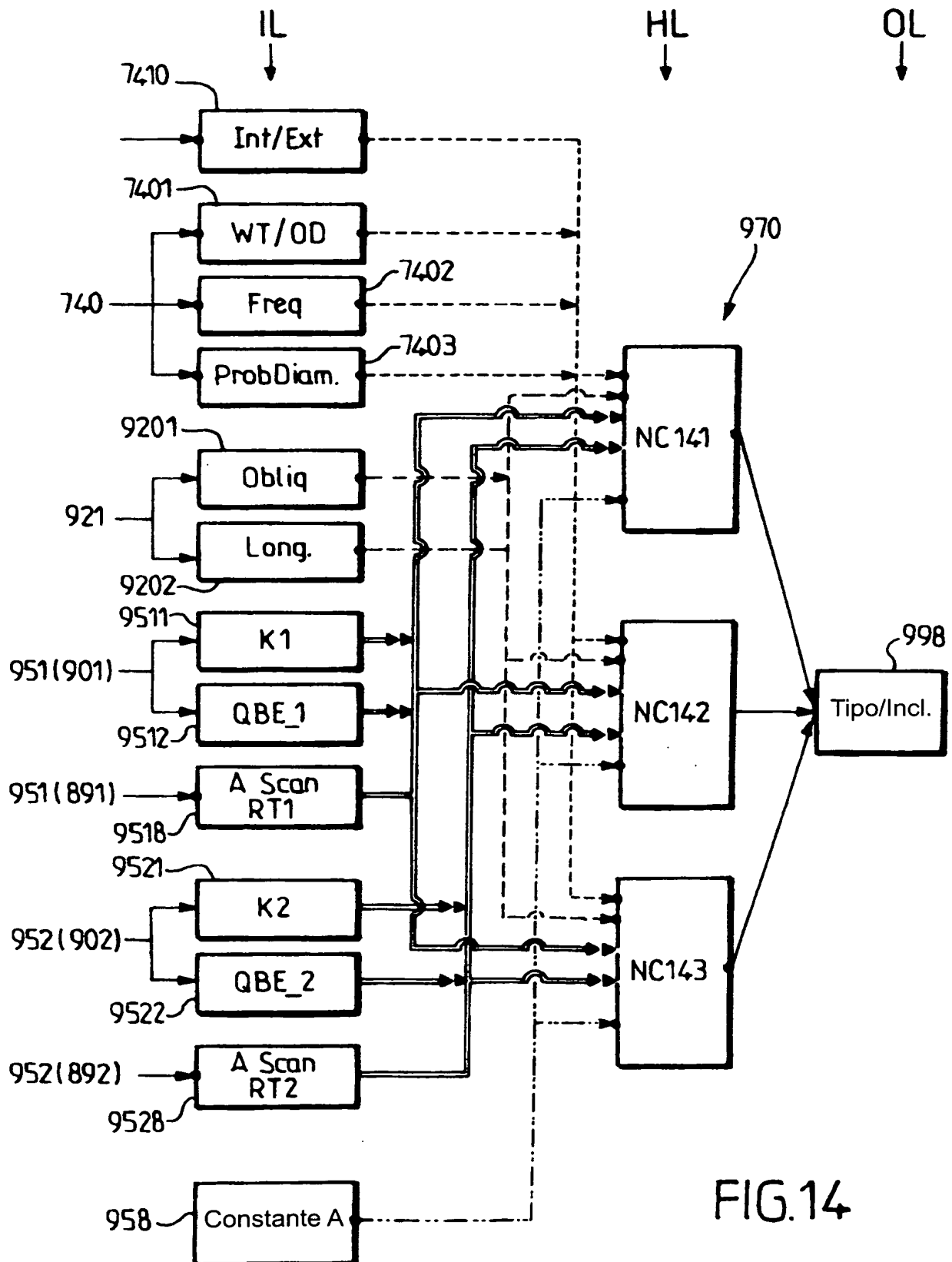


FIG.14

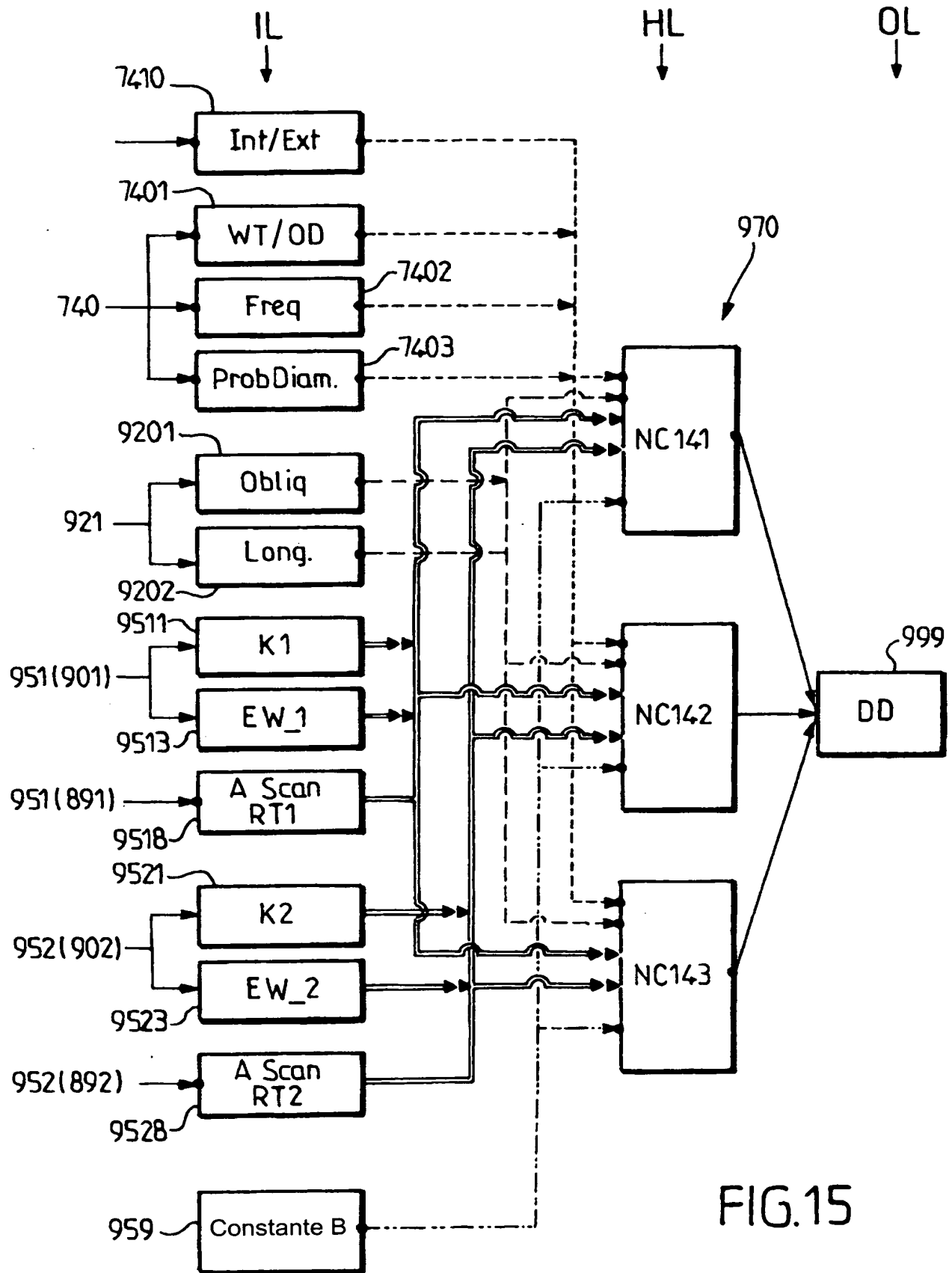


FIG.15

15/16

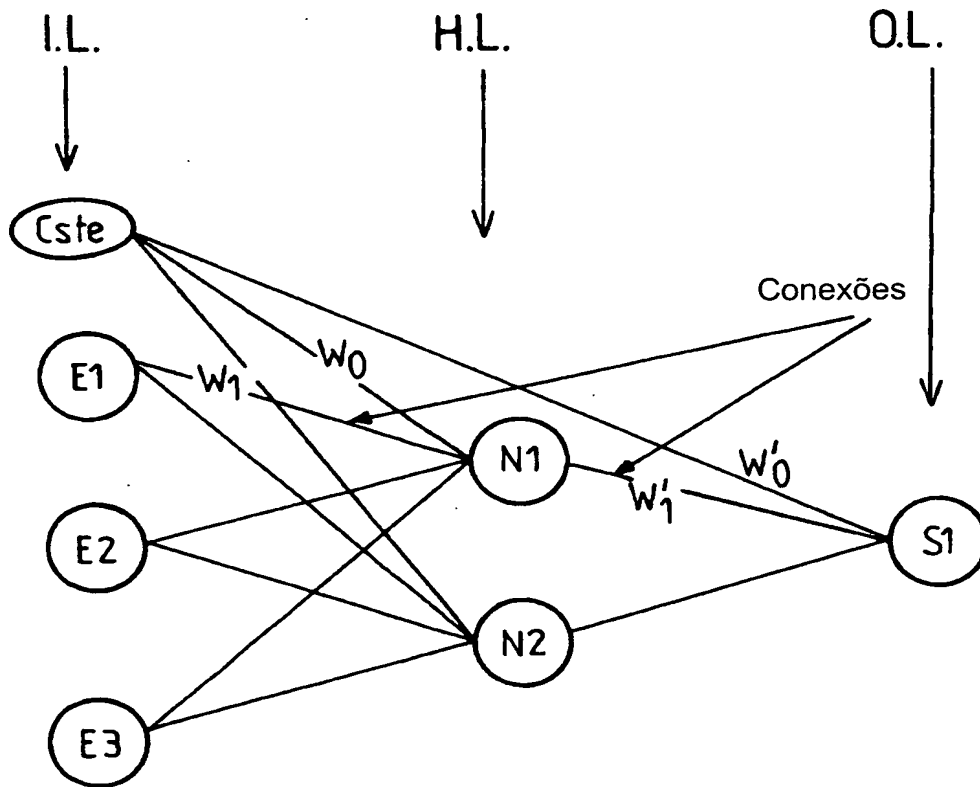


FIG.16

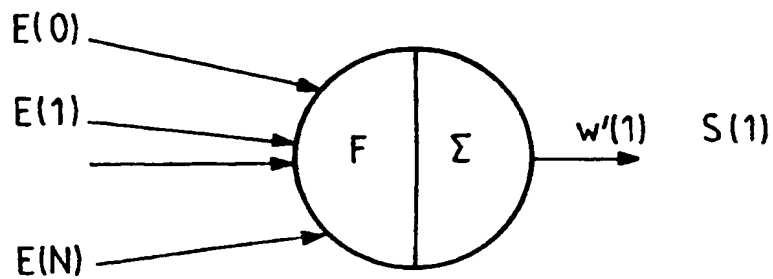


FIG.17

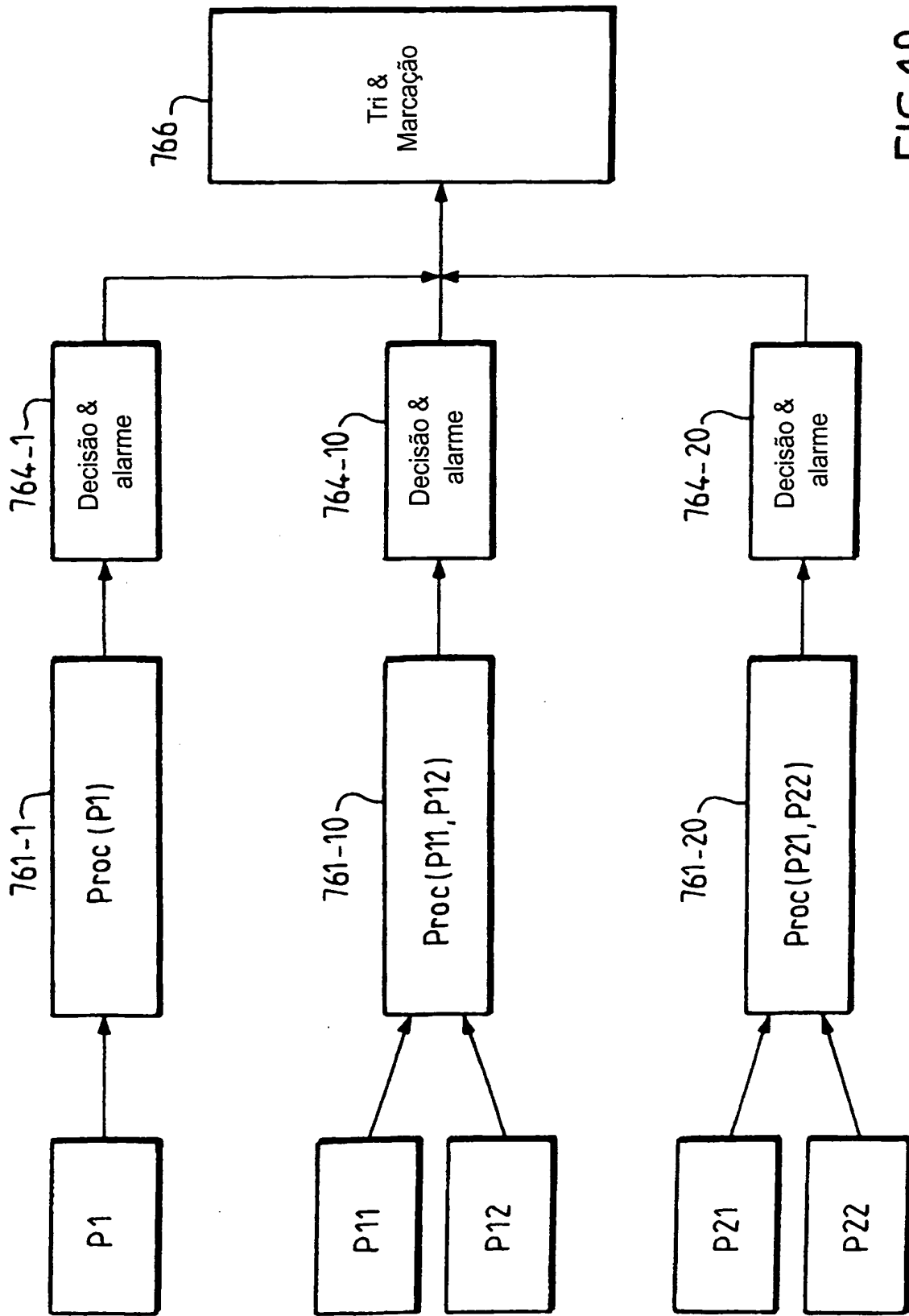


FIG.18

RESUMO

Patente da Invenção: **"CONTROLE NÃO DESTRUTIVO DE PRODUTOS SIDERÚRGICOS PARA ULTRA-SONS"**.

Dispositivo de controle não destrutivo de tubos.

- 5 Ele coleta informações sobre imperfeições de sinais captados por receptores ultra-sonoros consecutivamente à excitação seletiva de emissores ultra-sonoros, segundo uma lei de tempo escolhida. Os receptores formam uma disposição de geometria escolhida, acoplada de maneira ultra-sonora, com movimento relativo de rotação/translação, com o tubo. O dis-
- 10 positivo compreende um conversor (891; 892) isolando seletivamente uma representação numérica de ecos em janelas temporais designadas, em função do movimento, e tirando uma imagem (901; 902) de imperfeições, um filtro (921, 922), determinando zonas de imperfeição presumida (Zcur) e propriedades destas, um combinador (960) preparando entradas numéricas de
- 15 trabalho, a partir de um extrato (951; 952) das imagens de uma zona de imperfeição, de propriedades desta oriundas do filtro e de dados de contexto (740), um circuito neural (970) que recebe as entradas de trabalho, um estágio numérico de decisão e de alarme (992), operando sobre a base da saída do circuito neuronal, e um autômato de tri e de marcação (994) dos tubos
- 20 decididos não conformes pelo estágio de decisão e alarme.