



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

(21) **PI 1003905-8 A2**

(22) Data de Depósito: 20/10/2010
(43) Data da Publicação: 26/02/2013
(RPI 2199)



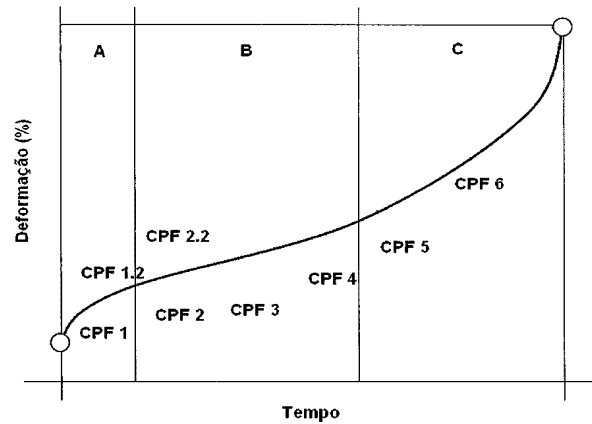
(51) *Int.Cl.:*
G01N 23/223

(54) Título: MÉTODO PARA MONITORAR DEGRADAÇÃO ESTRUTURAL E FALHAS EM MATERIAIS E DISPOSITIVO SENSOR

(73) Titular(es): Universidade Federal da Bahia

(72) Inventor(es): Alete Paixão Teixeira, Cristina Maria Assis Lopes Tavares da Mata Hermida Quintella, Erica Borges Santana de Oliveira, Iuri Muniz Pepe, Martha Teresa Pantoja de Oliveira Castro

(57) Resumo: MÉTODO PARA MONITORAR DEGRADAÇÃO ESTRUTURAL E FALHAS EM MATERIAIS E DISPOSITIVO SENSOR A presente invenção refere-se a um método de monitoramento da degradação estrutural e de falhas em materiais por intermédio da análise dos espectros fornecidos por esses materiais quando submetidos à radiação X. Mais particularmente a invenção se refere à determinação direta do estágio de degradação micro estrutural por fluência, exposição a temperatura ou outros processos, em aços, ligas metálicas, vidros, compósitos, plásticos, materiais poliméricos, entre outros. A invenção tem emprego no monitoramento da qualidade de dutos, recipientes, tanques, equipamentos industriais em geral.



MÉTODO PARA MONITORAR DEGRADAÇÃO ESTRUTURAL E FALHAS EM MATERIAIS E DISPOSITIVO SENSOR

CAMPO DA INVENÇÃO

A presente invenção refere-se a um método de monitoramento da
5 degradação estrutural e de falhas em materiais por intermédio da análise
dos espectros fornecidos por esses materiais quando submetidos à
Radiação X.

Mais particularmente a invenção se refere à determinação direta do
estágio de degradação micro estrutural por fluência, fadiga, exposição à
10 temperatura ou outros processos, em aços, ligas metálicas, vidros,
compósitos, plásticos, materiais poliméricos, entre outros.

Segundo o método da invenção, os materiais são submetidos à
Radiação X e os espectros obtidos são organizados sob a forma de matriz
de dados e submetidos a tratamento matemático utilizando ferramentas
15 quimiométricas adequadamente selecionadas.

Mais particularmente a invenção se refere tanto à determinação direta
dos teores de carbeto em aços e ligas metálicas, como à determinação
direta de grau de degradação de compósitos de carbono e de polímeros por
alterações de suas composições e estruturas.

20 Mais especificamente a invenção se refere ao monitoramento da
qualidade de dutos, recipientes, tanques e equipamentos domésticos e
industriais em geral.

FUNDAMENTOS DA INVENÇÃO

O monitoramento e determinação da degradação estrutural e de
25 falhas em materiais por métodos não-destrutivos tem sido um desafio
tecnológico para a humanidade. Especialmente, a determinação de teor de
carbeto em aços e ligas metálicas tem sido não só deveras difícil, como
indispensável para variados processos.

Recentemente, com o uso de novos materiais compostos incluindo
30 compósitos, fibras de carbono e polímeros como nylon, este desafio se
mantém, agora requerendo métodos mais abrangentes do que aqueles
originalmente desenvolvidos apenas para aços e ligas metálicas.

Um dos processos de degradação micro estrutural é causado pela fluência que consiste na deformação irreversível e contínua que ocorre a uma carga constante em aços expostos a alta temperatura. Nesta os domínios do material costumam tomar uma forma alongada na direção da tração exercida que pode ser observada também no formato dos grãos.

Uma outra forma de degradação micro estrutural é causada por aquecimento isotérmico, onde ocorre envelhecimento forçado do material, sendo que os átomos sofrem migrações e alterações, alterando a distribuição de domínios de constituição química e a distribuição e tamanho dos grãos.

Um modo de realizar um monitoramento e uma determinação da degradação estrutural e de falhas é por meio da análise dos espectros fornecidos por esses materiais quando submetidos à Radiação X. No entanto, sua interpretação em modo amplo, tem sido um grande desafio devido a problemas como relação sinal/ruído, baixa resolução e a complexidade dos dados.

Existem várias denominações de espectrometrias nas quais são variados: o tipo de irradiação (características da fonte, partícula, faixa energética, modo de irradiação, entre outros); o tipo de exposição de amostra (estado físico, método de preparação, posição, área irradiada, entre outras); e o tipo de detecção (radiação ou partícula ou suas combinações, faixa de energia, tipo de sincronismo, uma ou mais partículas, uma ou mais radiações, local ou remota, em ângulo definido ou integrado, entre outras). Neste relatório será denominado com o nome genérico de “Espectrometria de Raios-X”, todas as técnicas espectroscópicas que tenham energia de irradiação na faixa dos Raios-X, independente do tipo de irradiação, exposição da amostra ou tipo de detecção.

Um dos tipos de Espectrometria de Raios-X é a Espectrometria de Fluorescência de Raios-X que se baseia no efeito fotoelétrico de absorção / emissão e que envolve fótons e elétrons, podendo ser a detecção em energia absoluta ou em perda de energia.

Usualmente, a Espectrometria de Fluorescência de Raios-X mostra a

presença das linhas e/ou bandas, usualmente denominadas de linhas de emissão característica, e das linhas e/ou bandas denominadas de linhas de espalhamento da fonte [X-Ray Fluorescence Spectrometry, 2ª edição, R. Jenkins, Wiley-Interscience, New York, 1999, ISBN 0-471-29942-1].

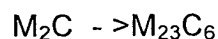
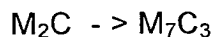
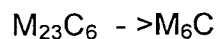
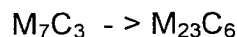
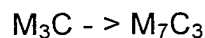
5 O espalhamento da radiação gera vários efeitos, sendo usualmente estudados os efeitos "Rayleigh" e "Compton", respectivamente, espalhamento elástico (coerente, sem variação de energia e com memória direcional) e inelástico (incoerente, multidirecional e variando energia).

10 Estas interações dependem também não só da composição dos materiais, como das suas variações estruturais.

A degradação estrutural, apesar de não ter alterações significativas na composição atômica dos materiais, tem, no entanto, alterações significativas na maneira como esses átomos se associam, seja com perda ou ganho de elétrons, formando íons, seja no agrupamento em domínios com composições específicas [Inoue, A., Masomoto, T., Metallurgical Transactions A, v11A, 739-747, May, 1980].

20 Por exemplo, a mudança microestrutural de carbetos é um dos principais indicativos de degradação em altas temperaturas de aços e ligas metálicas. Como exemplo, Inoue e Masumoto mostraram as transformações e as relações cristalográficas entre carbetos formados ao longo do processo de fluência em aços Cr-Mo [Inoue, A., Masomoto, T., Metallurgical Transactions A, v11A, 739-747, May, 1980].

25 Verifica-se que tais mudanças estão relacionadas com a similaridade da morfologia e/ou domínios, ou sejam, regiões de precipitação destes carbetos. Os resultados indicam que ocorrem as seguintes mudanças em relação aos carbetos:



– a cementita " M_3C " e " M_2C " estão presentes na microestrutura inicial.

- os carbetos do tipo " M_3C " têm como característica uma estrutura ortorrômbica. Normalmente encontra-se no interior de colônias perlíticas na forma lamelar.
- " M_2C " cresce em forma de agulhas e possui uma estrutura cúbica de face centrada (pode se transformar em " $M_{23}C_6$ " ou " M_7C_3 ").
- " M_7C_3 " possui estrutura ortorrômbica e precipitam principalmente nos contornos de grão.
- " $M_{23}C_6$ " possui estrutura cúbica de corpo centrado e forma-se no interior do grão.
- " M_6C " se apresenta na forma esferoidizada no interior do grão ou irregular no contorno de grão, sendo importante indicativo de estágio avançado de degradação e surge normalmente no estágio terciário [Polcik, P., Sailer, T., Blum, W., Straud, S.; Materials Science and Engineering A260, 252-295, 1999]. Sua presença é um importante indicativo de estágio avançado de degradação.

Desta forma, análises de espalhamento de Raios-X, sendo sensíveis a diferentes tipos cristalográficos de carbetos, têm alto potencial de determinação destas formas. No entanto, apenas o espalhamento de Raios-X não permite identificação confiável pois a complexidade dos diversos tipos de espalhamentos e das diversas fontes de espalhamento.

Assim, a determinação de degradação estrutural apenas por técnicas experimentais requer métodos de medidas que aumentem o rendimento quântico pelo aumento da intensidade da fonte de radiação ou pelo aumento da sofisticação dos instrumentos e técnicas de detecção, como por exemplo, a utilização da radiação síncrotron, a coincidência de partículas e radiação, a detecção síncrona, entre outras.

No entanto, estes métodos têm as desvantagens de usualmente apresentarem baixa precisão e baixa exatidão [Potts PJ e col., Journal of Analytical Atomic Spectrometry 18 (10): 1297-1316, 2003; Alvarez M e col., X-Ray Spectrometry 20 (2): 67-71, 1991].

Adicionalmente, existem as desvantagens competitivas de exigirem

longos tempos de irradiação para alcançar razões “sinal / ruído” satisfatórias e de serem caros.

Além desses inconvenientes, a utilização de alguns desses equipamentos de irradiação em campo torna-se inviável devido à área que ocupam e à impossibilidade de movimentação dos mesmos.

A Quimiometria ou análise multivariada consiste em tratamentos matemáticos de dados químicos e suas matrizes com algoritmos adequados.

Podem ser citadas como exemplos, as técnicas de: Análise por Componentes Principais (PCA), Regressão por Mínimos Quadrados Parciais (PLS), Regressão por Componentes Principais (PCR), Análise Paralela de Fatores (PARAFAC) e Tucker. Da mesma forma podem ser citadas técnicas fundamentadas em distâncias como: Análise Hierárquica de Agrupamentos (HCA), técnicas baseadas em inteligência artificial como Redes Neurais e Algoritmo Genético, técnicas de lógica como Lógica Fuzzi, entre outros métodos, tem sido utilizada por décadas para tratamento de dados complexos.

Ainda como exemplos, têm-se os tratamentos de espectros obtidos por diferentes espectroscopias e espectrometrias como: Espectroscopia de Infravermelho Próximo (NIR) [Arvanitoyannis IS e col., *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 45 (3): 193-203, 2005], tensão interfacial dinâmica por Despolarização da Fluorescência Induzida por Laser [Quintella, C. M.e col., *Journal of Physical Chemistry B, USA*, v. 107, n. 33, p. 8511-8516, 2004], Espectrometria de Massas [Aeschliman DB e col., *Analytical Chemistry* 76 (11): 3119-3125, 2004], Espectroscopia de Raios-X [Pereira FMV e col., *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54 (16): 5723-5730, 2006], entre outras.

Existem hoje em dia vários pacotes de softwares comerciais que processam matrizes por Análise Multivariante de Dados.

Os usuários devem construir suas matrizes de dados, e definir, para cada situação específica, que tipo de processamento deve ser aplicado.

A existência desses pacotes de software, por si só, não permite realizar análises ou prever resultados, mas constitui-se em uma poderosa

ferramenta na mão de especialistas e pesquisadores, para que possam alcançar seus diferentes objetivos.

TÉCNICA RELACIONADA

O monitoramento de têmpera de aços por difração de Raios-X a altas
5 temperaturas foi utilizada para determinar a microestrutura durante o
tratamento térmico [Wiessner M e col, Particle & Particle Systems
Characterization 22 (6): 407-417, 2006]. Foram determinados os parâmetros
de rede de austenita e de martensita de modo a inferir as mudanças de
10 conteúdo de carbono através das diferenças entre as quantidades das duas
fases e de micro-estresse. No entanto não se refere à degradação micro
estrutural do material.

O documento JP 2007003509 - Method and Apparatus for Diagnosing
Degradation of Steel Framed Structure – concerne ao uso de um arranjo
baseado no efeito de impedância magnética, com vários canais de detecção,
15 onde a superfície a ser inspecionada passa a ser uma parte do circuito de
campo magnético.

O documento JP 2006010646 - Method and Apparatus for Detecting
Degradation of Inner Surface of Steel Pipe - se baseia em permeabilidade
magnética e correspondente voltagem induzida.

20 O documento JP 2002328095 - Simple On-Site Judging Method for
Degradation of Steel Structure Which is Hot-Dip Galvanized – concerne à
comparação e determinação de alterações em fotografias adquiridas em
tempos diferentes.

O documento JP 11132962 - Method and System Apparatus for
25 Judgment of Degradation and Corrosion of Surface Treated Steel Product –
concerne à determinação de corrosão na superfície externa através de
aquisição de imagens e sua comparação.

O documento JP 7260753 - Valuation Method for Degradation of Steel
Material – concerne à predição e diagnóstico de material degradado como
30 carga, dobras repetitivas, calor de vibração, etc. e permite acompanhar o
processo de degradação pelos carbeto precipitados na borda dos grãos
através de alterações nas propriedades das ondas ultra-sônicas.

A determinação de elementos leves em matrizes líquidas orgânicas foi realizada utilizando Espalhamento Retrogrado de Raios-X [Molt K e col., X-Ray Spectrometry 28 (1): 59-63, 1999]. Foi determinado C, H e O em líquidos orgânicos utilizando o método co-variante de componentes principais e espectros de DXRS.

A determinação simultânea de chumbo e enxofre por Espectrometria Dispersiva de Raios-X com métodos multivariados de calibração e redes neurais [Facchin I e col., X-Ray Spectrometry 28 (3): 173-177, 1999], foi anteriormente utilizada. Metodologias co-variantes matemáticas foram utilizadas para corrigir interferências espectrais e inter-elementares na análise quantitativa de Fluorescência de Raios-X [Nagata N e col., Química Nova 24 (4): 531-539, 2001].

O documento PI 0400867-7 - Espectrometria de Espalhamento de Raios-X (EERX) Associada à Quimiometria - apresenta um método de análise utilizando espalhamento de fontes de Raios-X, com resolução alcançada pelo emprego de ferramentas quimiométricas. O método foi aplicado para a classificação de amostras como padrões úteis em análise ambiental e de metabolismo animal e a medição quantitativa da massa molar de polímeros naturais orgânicos.

No documento PI 0500177-3 - Espalhamento de Raios-X e Quimiometria para Classificação de Óleos Vegetais, Animais, Minerais e/ou Sintéticos – descreve-se uma outra aplicação do método concernente à identificação de vários tipos de óleos e a sua classificação.

O documento PI 0500753-4 - Método de Controle de Qualidade de Medicamentos Alternativos (Genéricos e Similares) por Espalhamento de Raios-X – diz respeito à classificação de matrizes orgânicas complexas visando indústrias farmacêuticas ou indústrias que produzam medicamentos, com aplicação na classificação de variedades de frutas, alimentos em geral, tintas, pastas, plantas e polímeros.

O documento PI 0502763-2 - Método de Quantificação de Parâmetros da Indústria Petrolífera por Espalhamento de Raios-X e Quimiometria - descreve um método que permite determinar as propriedades

de um petróleo por meio de dosagens características como ponto de anilina, que informa sobre o teor de aromáticos e/ou parafinas na amostra, teor de asfaltenos, materiais voláteis, entre outros, onde os materiais são líquidos ou pastilhas sólidas.

5 O documento PI 0502861-2 - Método de Quantificação de Alumínio em Sílica por Espalhamento de Raios-X Aliado a Quimiometria - concerne à combinação de Espalhamento de Raios-X e de Quimiometria para melhorar a quantificação do elemento de número atômico 13, o alumínio, em matrizes de sílica, em particular, a determinação de alumínio em zeólitas.

10 O documento PI 0205228-8 Processo para Monitoramento de Degradação de Camada de Sulfetos Sobre Aços - concerne o uso da eletroquímica de voltametria para monitoramento on-line e em tempo real da degradação de camada de sulfeto sobre aço provocada por cianetos ou outros produtos deletérios.

15 O documento JP 2006010646 - Method and Apparatus for Detecting Degradation of Inner Surface of Steel Pipe - se baseia em permeabilidade magnética e correspondente voltagem induzida.

O documento PI 0706233-8 (WO2009/055886) - Processo para Determinação do Teor de Elementos Leves em Aços e Ligas Metálicas – e o trabalho IBP1491_09 [Quintella CM; Castro MTPO; Mac-Culloch J N L M, Rio Pipeline Conference Proceedings 2009] concernem à determinação de elementos leves, ou seja, de massa molar abaixo de 23, em materiais inorgânicos, por intermédio da análise dos espectros fornecidos por esses materiais quando submetidos à Radiação X. Mais particularmente a
20 invenção se refere à determinação direta dos teores de carbono em aços e
25 ligas metálicas.

A associação de ultrassom e quimiometria mostrou ser possível otimizar os parâmetros de sinais ultrassônicos para avaliação da degradação micro estrutural de aços [Castro MTPO; Quintella CM Teixeira AP; Melo
30 EGV; Oliveira EBS; Matos PCC; Damasceno S, 10a COTEQ Conferência Sobre Tecnologia de Equipamentos, 2009, ABENDE, ABRACO e IBP, 2009], assim como mostrou ser possível avaliar qualitativamente a sua degradação

micro estrutural [Teixeira AP e col. Anais do V Congresso Nacional De Engenharia Mecânica. - Associação Brasileira de Ciências Mecânicas, 2008].

5 A Despolarização da Fluorescência Induzida por Laser associada à análise de componentes principais (PCA) [Santos GB, Lima AMV, Musse APS, Santos HPD, Teixeira, AP, Castro MTPO, Quintella CM, Damasceno S; V Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2008] mostrou ser possível observar qualitativamente a degradação micro-estrutural de aços ferríticos.

10 No entanto, nenhum dos pedidos ou outras publicações acima citados questionam ou sugerem a aplicação de um método para o monitoramento da degradação estrutural e de falhas em materiais por intermédio da análise dos espectros fornecidos por esses materiais quando submetidos à Radiação X, sendo que os espectros obtidos são organizados sob a forma de matriz de dados, e submetidos a tratamento matemático utilizando
15 ferramentas quimiométricas adequadamente selecionadas. Mais particularmente não se referem à determinação direta do estágio de degradação micro estrutural por fluência, fadiga, exposição à temperatura ou outros processos, em aços, ligas metálicas, vidros, compósitos, plásticos, materiais poliméricos, entre outros.

20 Hoje em dia, a maioria dos equipamentos e dutos em instalações industriais e produtivas é feita em aço, devido à sua resistência mecânica e térmica e à sua durabilidade. Recentemente, novos materiais têm sido empregados como polímeros, compósitos, tubos ascendentes ("risers") poliméricos e metálicos e suas combinações, fibra de carbono, fibra de vidro
25 combinada com polímeros, entre outros. No entanto, com o uso, estes materiais se degradam e precisam sofrer reparos e/ou ser reconstituídos.

Para tanto, a tecnologia humana depende de inspeção periódica e confiável, quanto à qualidade e integridade, dos equipamentos e tubulações em operação, muitos deles operando sob pressões elevadas.

30 Tais inspeções visam, não apenas garantir que continuem em operação, mas também que sejam evitados acidentes e danos ao meio ambiente, por exemplo, sob forma de vazamentos, contaminações, etc.

Assim, existe uma forte demanda por métodos que permitam determinar, por meio de ensaios não-destrutivos e de campo, com alta precisão e alta exatidão, o real estado de equipamentos e tubulações no que concerne a sua micro-estrutura e sua constituição [Santos, G. B e col.,
5 Degradação Micro-Estrutural de Aços Ferríticos Avaliada por PLF-FI, Anais da 29ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química. 2006].

Na determinação da degradação micro estrutural, a avaliação das distribuições e das constituições dos diversos sistemas cristalinos associados a micro domínios com constituição específica, como no caso dos
10 carbetos, é de extrema importância. Ela é essencial para que se possa saber com segurança até quando utilizar estes equipamentos e/ou tubulações.

Um problema atual diz respeito às unidades industriais com difícil acesso, ou por serem necessárias paradas que têm alto custo, ou por serem em lugares inóspitos como, no caso da indústria de energia, produção de
15 petróleo e gás em águas profundas e em áreas remotas. Em consequência, por razões de segurança, considerações e pressupostos, usualmente obtidos por modelagem teórica ou por tratamentos de imagens adquiridas em tempos diferentes, fazem com que os equipamentos venham a ser sub-utilizados ou mesmo retirados de operação antes do término de sua vida útil,
20 deste modo considerando margens altíssimas de segurança. Adicionalmente, quando as condições de operação são pouco usuais, estas simulações ficam com baixa confiabilidade. Assim, a aplicação de um método rápido, não destrutivo, de baixo custo e confiável, para determinar o grau de degradação micro estrutural do material se torna essencial, pois
25 permite identificação do grau exato de decaimento micro estrutural de um equipamento ou tubulação que esteja em operação. Para acesso a regiões inóspitas, torna-se ainda necessário que a inspeção seja remota.

É importante que a determinação ocorra em campo e sem que exija a parada de operação. Deste modo evitam-se perdas econômicas e
30 financeiras e quedas de produção, que podem ter consequências sérias para o desenvolvimento econômico e social.

Sabe-se ser possível determinar micro estruturas utilizando-se

equipamento com radiação síncrotron.

Contudo, esses equipamentos, além de serem de grande porte, são também muito caros, o que não justificaria sua utilização em uma indústria.

Os métodos atualmente empregados para determinação de grau de
5 degradação micro estrutural com maior precisão têm a desvantagem de
requerer parada de equipamentos e/ou retirada de material de modo
destrutivo para avaliação em laboratório em cromatógrafos siderúrgicos.

Usualmente são utilizados métodos de contacto como os métodos por
impedância magnética e por permeabilidade magnética.

10 O método sem contacto mais utilizado é a inspeção visual, com baixa
confiabilidade no que tange à degradação micro estrutural.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

A presente invenção refere-se a um método de monitoramento da
degradação microestrutural e de falhas em materiais, em especial a
15 determinação direta de estágio de degradação micro estrutural, por meio da
associação de análise multivariada de dados, ou análise quimiométrica,
aplicada a espectros obtidos por irradiação dos materiais com Raios-X,
especialmente ao se utilizar regiões do espectro usualmente pouco
utilizadas.

20 Um objetivo da presente invenção foi desenvolver um método que
empregue um método de análise que permita com confiabilidade e precisão
determinar diretamente o grau de decaimento micro estrutural em aços, ligas
metálicas, vidros, compósitos, plásticos, materiais poliméricos, entre outros.

A partir da análise das regiões dos espectros, anteriormente
25 desconsideradas, é possível monitorar e avaliar o estágio de degradação
micro estrutural.

Outro objetivo da invenção é prover um método que permita efetuar a
análise de modo não destrutivo e remoto e que não exija a retirada do
equipamento de operação e que possa ser aplicado em campo.

30 Adicionalmente é um objetivo da presente invenção um dispositivo
sensor que opera baseado na metodologia da presente invenção.

Compreende um equipamento misto de circuitos dedicados

(*hardware*) e código de programação embarcado (*software*), capaz de proceder às medições e análise de dados de medição de fluorescência e ou espalhamento de Raios-X em tempo real, em bancada ou em campo, de materiais (aços, ligas metálicas, vidros, compósitos, plásticos, materiais poliméricos, entre outros), sendo que as amostras não necessitam de tratamento prévio.

BREVE DESCRIÇÃO DAS FIGURAS

A Figura 1 mostra 16 espectros superpostos de Fluorescência de Raios-X das amostras.

10 A Figura 2 mostra um esquema da curva padrão de fluência.

A Figura 3 mostra o gráfico dos resultados após tratamento quimiométrico dos espectros de Fluorescência de Raios-X.

A Figura 4 mostra o gráfico dos resultados após tratamento quimiométrico dos espectros de Fluorescência de Raios-X.

15 A Figura 5 mostra o gráfico dos resultados após tratamento quimiométrico dos espectros de Fluorescência de Raios-X.

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

A presente invenção refere-se a um método de monitoramento da degradação microestrutural e de falhas em materiais, em especial a determinação direta de estágio de degradação micro estrutural, por meio da associação de análise multivariada de dados, ou análise quimiométrica, aplicada a espectros obtidos por irradiação dos materiais com Raios-X, especialmente ao se utilizar regiões do espectro usualmente pouco utilizadas.

25 O método para monitorar a degradação estrutural e falhas em materiais compreende as seguintes etapas:

- a) coletar e preparar amostras padrão com a finalidade de servirem como teste para a definição final das variáveis de interesse;
- b) obter os espectros de Fluorescência de Raios-X resultante da irradiação das amostras padrão;
- 30 c) construir uma matriz de dados de forma tal que cada linha corresponda ao espectro de cada amostra e cada coluna e aos seus

respectivos valores de energia;

- d) efetuar o pré-processamento matemático dos espectros obtidos que pode ser escolhido entre centrar a matriz na média e autoescalar a matriz, utilizando algoritmos adequados;
- 5 e) construir a curva de classificação multivariada dos dados;
- f) obter os espectros de Fluorescência de Raios-X resultante da irradiação de amostras de interesse;
- g) efetuar o processamento matemático dos dados obtidos;
- h) aplicar a curva de classificação construída para determinação direta do estágio de degradação micro estrutural a partir de amostras padrão validadas;
- 10 i) calcular os níveis de confiança da determinação efetuada utilizando as técnicas estatísticas já incorporadas no algoritmo utilizado para calibração;
- 15 j) montar e testar o dispositivo sensor utilizando as amostras teste, de acordo com as especificidades a serem identificadas.

De acordo com o método da presente invenção, os materiais são utilizados diretamente sem nenhum tratamento prévio.

Os materiais são submetidos à radiação de fonte de Raios-X, preferivelmente entre 5KeV e 50KeV, com um tempo de irradiação preferivelmente entre 10 segundos a 100 segundos.

Os espectros de Raios-X são então detectados, podendo ser tanto em função da energia, em vários modos possíveis sendo um delas a perda de energia.

25 Podem ser utilizadas tantas amostras de medição quantas se queira, sendo comum o uso de duas a cinco. Uma vez obtidos os espectros, estes são organizados sob a forma de matriz e os dados são processados matematicamente utilizando metodologia quimiométrica.

30 Pode-se utilizar todo o espectro obtido ou apenas parte deste para se proceder à análise dos dados. Nos exemplos, analisam-se regiões do espectro entre 5 keV e 22 keV, que inclui tanto a fluorescência das amostras quanto o espalhamento da fonte. Os espectros são matematicamente

processados por metodologias co-variantes.

Assim, o método da presente invenção determina de forma qualitativa direta e de forma quantitativa direta o estágio de degradação estrutural por meio da associação de análise quimiométrica, aplicada a espectros obtidos por irradiação dos materiais com Raios-X, especialmente ao se utilizar
5 regiões do espectro entre 5 keV e 22 keV.

São obtidas informações de natureza qualitativa de identificação de estágios de micro degradação estrutural e indicação de quantificação por linearidade entre eixos de análise co-variante. Em algumas situações, o
10 tratamento univariado de correlação, sendo um subconjunto do tratamento multivariado, pode vir a ser utilizado.

No processamento de análise exploratória dos dados, empregam-se, no caso de análise qualitativa, algoritmos para Análise de Componentes Principais (PCA) e Análise Hierárquica de Agrupamentos (HCA), enquanto
15 que para análise quantitativa e classificação multivariada de dados, empregam-se algoritmos para Análise por Mínimos Quadrados Parciais (PLS) e Regressão por Componentes principais (PCR). A determinação do estágio de degradação é realizada por meio da associação de análise multivariante de dados, aplicada a espectros obtidos por irradiação dos
20 materiais com Raios-X nas regiões do espectro entre 5 keV e 22 keV.

O resultado do processamento desses dados separa os materiais de acordo com a presença de domínios moleculares típicos de degradação micro estrutural dos materiais ou das combinações de suas concentrações relativas. São então construídas curvas de classificação por métodos
25 matemáticos, sendo um exemplo a Regressão por Mínimos Quadrados, nas regiões do espectro que englobam o espalhamento da fonte e das fluorescências, e que permitem modelar a avaliação do estágio de degradação micro estrutural do processo. Para isso são utilizadas amostras padrão.

30 Finalmente, monta-se e testa-se o dispositivo sensor utilizando as amostras teste, de modo que seu desempenho seja aprimorado de acordo com as especificidades a serem identificadas. Isto permite que os dados

sejam transmitidos para uma estação de controle, propiciando monitoramento remoto e controle remoto.

O dispositivo sensor opera baseado na metodologia da presente invenção. Compreende um equipamento misto de circuitos dedicados
 5 (*hardware*) e código de programação embarcado (*software*), capaz de proceder às medições e análise de dados de medição de fluorescência e ou espalhamento de Raio-X em tempo real, em bancada ou em campo, de materiais (aços, ligas metálicas, vidros, compósitos, plásticos, materiais poliméricos, entre outros), sendo que as amostras não necessitam de
 10 tratamento prévio.

Este equipamento compreende a seguinte integração de *hardware*:

- Fonte de Raios-X;
- Detectores de fótons;
- Pré-amplificadores e filtros;
- 15 - Bloco de aquisição de dados em tempo real;
- Bloco de atuadores e *interlocks*.

Por outro lado, este equipamento compreende os códigos de programação embarcados a seguir:

- Bloco de tratamento de dados e estatística;
- 20 - Bloco de especialista e tomada de dados;
- Interface gráfica;
- Interface homem/máquina;
- Bloco de controle de parâmetros lentos e *interlocks*.

O sensor apresenta, adicionalmente, as seguintes características
 25 funcionais:

- a) Área de incidência na amostra de 1 mm² a 50 cm²;
- b) Tempo de irradiação da amostras entre 1 e 1000 segundos;
- c) Sistema opcional de filtros - para selecionar a emissão fluorescente; e
- d) Detecção dos fótons tanto em função da energia, quanto do tempo ou
 30 ainda da perda de energia;
- e) Sistema opcional inteligente - para excitação e aquisição de acordo com o modelo matemático específico do dispositivo sensor;

- f) Sistema opcional de auto-calibração;
- g) Sistema opcional de tomada de decisões.

A fonte de Raios-X gera fótons com energia ente 5KeV e 50KeV, na forma de um feixe contínuo ou pulsado. O tempo de integração da informação adquirida é variável, a depender função da área observada (variando entre milímetros quadrados e centímetros quadrados), sendo preferivelmente de 1 a 1000 segundos, contudo eventuais versões desse equipamento abreviam este tempo de medição pelo aumento da sensibilidade dos detectores ou pelo aumento da luminosidade da fonte de Raios-X.

O equipamento é capaz de detectar o sinal dos fótons de fluorescência, tanto em função da energia, quanto do tempo ou ainda da perda de energia. Os espectros adquiridos são integrados num banco de dados que acumula e põe esta informação à disposição da etapa de tratamento de dados e estatística. O tratamento de dados e estatística é um bloco numérico virtual que procede a análise dos espectros preferencialmente entre 6 keV e 23 keV. Os espectros brutos são organizados na forma de uma matriz, sendo então processados matematicamente por métodos e modelos de quimiometria. Os espectros, agora em forma matricial, são matematicamente processados por metodologias co-variantes.

Para a análise exploratória e calibração, são utilizados procedimentos quimiométricos fundamentados em técnicas de projeção. Estes vários métodos formam um bloco especialista. Os dados podem ou não ser transmitidos para uma estação de controle, permitindo monitoramento remoto e controle remoto. Opcionalmente o dispositivo sensor pode ainda tomar decisões, deste modo automatizando ajustes de processos e/ou disparando mensagens de alerta de queda de qualidade de substâncias.

A seguir serão apresentados exemplos ilustrativos para o método da presente invenção.

Exemplo 1 – Ordenação por conteúdo de carbetto em aço devido ao estágio de degradação induzido por fluência

Para a obtenção dos espectros de Fluorescência de Raios-X, as

amostras foram submetidas, sem qualquer tratamento prévio, à radiação policromática de um tubo de Raios-X de ródio. Foi utilizado o equipamento comercial Shimadzu EDX 900 HS com placa Peltier para controle de temperatura, com tempo de irradiação de 100 segundos, voltagem aplicada
5 ao tubo de 50KeV e corrente variável. A área irradiada de amostra foi de até 10 mm de diâmetro.

A Figura 1 mostra 16 espectros superpostos de Fluorescência de Raios-X das amostras, com as linhas e/ou bandas de emissão característica e as linhas e/ou bandas de espalhamento da fonte.

10 O eixo horizontal mostra a energia em keV e o eixo vertical mostra a intensidade em Kcps/mA. As amostras foram obtidas de uma única chapa de aço 2,25 Cr - 1 Mo que foi inicialmente avaliada por metalografia para comprovar que se encontrava virgem, deste modo eliminando variações devidas a prazo de fabricação e a exposição aos elementos atmosféricos.

15 As amostras consistiam de corpos de prova com formato típico para testes de fluência, tendo comprimento de 50,0 mm na área de interesse, diâmetro central de 12,5 mm e roscas M12 nas bordas, com 3,0 mm de raio de curvatura para as roscas. Estes corpos de prova em duplicata foram submetidos à fluência por diversos tempos, de modo a poder abranger toda
20 a curva padrão de fluência, conforme a Figura 2. Nesta Figura 2, que mostra um esquema da curva padrão de fluência, o eixo vertical representa a deformação e o eixo horizontal o tempo em que a amostra esteve submetida ao ensaio de fluência.

O primeiro estágio de deformação, segundo estágio de deformação e
25 o terceiro estágio de deformação estão assinalados com as letras A, B e C respectivamente. Na Tabela 1 mais abaixo, deve ser esclarecido que: as designações CPF1 a CPF6 indicam as amostras submetidas ao primeiro ciclo de fluência (670°C e 30 MPa); as designações CPF1.2 e CPF2.2 indicam amostras submetidas ao segundo ciclo de fluência (650°C e 30
30 MPa); e - são ilustradas as amostras de fluência a 670°C e 30 MPA.

Como é possível observar, a Tabela 1 mostra as características das medidas das amostras submetidas à análise segundo o método da invenção,

com suas condições de submissão a ensaios de fluência, de modo a obter graus de degradação micro estrutural controlados, e mostra a caracterização das medidas das amostras utilizadas nos testes de fluência, compreendendo os dois ciclos corridos a diferentes temperaturas onde CPF significa corpo de prova. Para garantir a representatividade da amostra, as amostras foram irradiadas em faces diferentes e por diversas vezes. Verificou-se que variando a face irradiada ou repetindo com a mesma amostra o resultado se mostrou inalterado, comprovando que o material era confiável e a reprodutibilidade da medida. A matriz de dados foi construída de forma tal que cada linha corresponde ao espectro de cada amostra e cada coluna, aos seus respectivos valores de energia.

TABELA 1

Medida	Corpo de Prova	Tempo (h)	Estágio de Fluência
1	CPF1	231	1º estágio
2			1º ciclo de fluência
3	CPF2	760	2º estágio
4			1º ciclo de fluência
5	CPF3	1070	2º estágio
6			1º ciclo de fluência
7	CPF4	1509	2º estágio
8			1º ciclo de fluência
9	CPF5	2030.1	3º estágio
10			1º ciclo de fluência
11	CPF6	2582.8	3º estágio
12			1º ciclo de fluência
13	CPF1. 2	621.7	1º estágio
14			2º ciclo de fluência
15	CPF2. 2	1553.3	2º estágio
16			2º ciclo de fluência
17	CPF0	0	Amostra virgem

Efetuada o pré-processamento dos dados, autoescalando os dados, procedeu-se à análise exploratória (PCA), utilizando-se os softwares comerciais Matlab 6.5[®] e The Unscrambler 9.5[®]. Para a análise exploratória dos dados foi utilizado o algoritmo Análise de Componentes Principais (PCA). Na Análise de Componentes Principais (PCA), a primeira componente (PC1) explicou 51,46% da variância e a segunda componente (PC2) 24,05 %, num total de 75,51%.

A Figura 3 mostra o gráfico dos escores após tratamento quimiométrico dos espectros de Fluorescência de Raios-X para as medidas conforme Tabela 1 das amostras para PC1 versus PC2. O eixo vertical é a segunda componente principal (PC2) e o eixo horizontal é a primeira componente principal (PC1). As medidas das amostras numeradas de 1 a 12 são as amostras submetidas à fluência (670°C e 30 MPa), sendo que a numeração aumenta com o grau de degradação micro estrutural. O número 17 indica a medida relativa à amostra virgem.

Nesta Figura 3 também observa-se que as amostras estão orientadas de acordo com sua degradação, partindo do quadrante de PC2 negativo para o quadrante de PC2 positivo, conforme seta ilustrativa.

A classificação multivariada dos dados pode ser realizada com os algoritmos para Análise por Mínimos Quadrados Parciais (PLS) e Regressão por Componentes Principais (PCR). As amostras do estágio C, que são impróprias para utilização devendo ser substituídas, se encontram em PC2 positivo.

Exemplo 2 – Ordenação da degradação por estágio de fluência

Foi utilizado procedimento semelhante ao do Exemplo 1. Na Análise de Componentes Principais (PCA), foram selecionadas: a primeira componente (PC1), que explicou 51,46% da variância, e a terceira componente (PC3), que explicou 3,55%.

A Figura 4 mostra o gráfico dos escores após tratamento quimiométrico dos espectros de Fluorescência de Raios-X das amostras, para PC1 versus PC3. As medidas são conforme a Tabela 2 das amostras

de CF1 a CF16 , que estão agrupadas não só de acordo com o estágio, como também com o ciclo de fluência. As regiões das amostras submetidas ao primeiro e ao segundo ciclo estão marcadas respectivamente com os índices 1º e 2º. Os estágios de fluência estão marcados com as letras A, B e C, de acordo com a Figura 2.

Nesta Figura 4 observa-se que as amostras do primeiro ciclo de fluência estão agrupadas de acordo com sua degradação, ou seja, estágio de fluência.

As amostras são ordenadas por seu estágio de fluência segundo PC3, sendo que valores de PC3 negativos mostram maiores tempos de fluência e, conseqüente maior degradação micro estrutural. As amostras do estágio C, impróprias para uso, se encontram reunidas no quadrante de PC1 e PC3 negativos.

A classificação multivariada dos dados pode ser realizada com os algoritmos para Análise por Mínimos Quadrados Parciais (PLS) e Regressão por Componentes Principais (PCR).

Exemplo 3 – Ordenação por conteúdo de carvão em aço devido ao estágio de degradação induzido por temperatura

Foi utilizado procedimento semelhante ao do Exemplo 1 sendo que as amostras consistiam de corpos de prova com formato de paralelepípedo medindo (600 x 280 x 210) mm. Estes corpos de prova foram submetidos a tratamento isotérmico por diversos tempos.

A Tabela 2 a seguir mostra as características das medidas das amostras, amostra virgem e amostras isotérmicas (CPI) utilizadas nos testes isotérmicos efetuados a 650 °C com óxido, submetidas à análise segundo o método da invenção, conforme os exemplos, com suas condições de submissão aos ensaios isotérmicos de modo a obter graus de degradação micro estrutural controlados.

Para a análise exploratória dos dados foi utilizado o algoritmo para Análise de Componentes Principais (PCA). Na Análise de Componentes Principais (PCA), a primeira componente (PC1) explicou 36,77 % da variância e a segunda componente (PC2) 31,99%, num total de 68,75%.

TABELA 2

Medida	Corpo de Prova	Tempo (h)	Camada de Óxido
a	CPI1	3	Sim
b		3	Sim
c	CPI2	30	Sim
d		30	Sim
e	CPI3	100	Sim
f		100	Sim
g	CPI4	300	Sim
h		300	Sim
i	CPI5.1	500	Sim
j		500	Sim
k	CPI5.2	500	Sim
l		500	Sim
m	CPI6.1	1000	Sim
n		1000	Sim
o	CPI6.2	1000	Sim
p		1000	Sim
q	CPI7	0	Não

A Figura 5 mostra o gráfico dos escores após tratamento quimiométrico dos espectros de Fluorescência de Raios-X para as amostras para PC1 versus PC2. O eixo vertical é a segunda componente principal (PC2) e o eixo horizontal é a primeira componente principal (PC1). As medidas são conforme a Tabela 2 das amostras designadas de "a" até "p" são as submetidas aos testes, sendo que a sequência aumenta com o grau de degradação micro estrutural. A medida da amostra virgem é a "q".

Nesta Figura 5 observa-se que as amostras estão orientadas de acordo com sua degradação, partindo do quadrante de PC2 negativo para o

quadrante de PC2 positivo, conforme seta ilustrativa. A amostra virgem "q" encontra-se em PC1 e PC2 bem negativo. A classificação multivariada dos dados pode ser realizada com os algoritmos para Análise por Mínimos Quadrados Parciais (PLS) e Regressão por Componentes Principais (PCR).

- 5 As amostras degradadas, que são impróprias para utilização devendo ser substituídas, se encontram em PC1 e PC2 negativos.

Exemplo 4 – Simulação de calibração por teor de carbetos

O seguinte procedimento é seguido, utilizando os softwares adequados, após repetir a aquisição de dados descrita anteriormente no
10 Exemplo 1.

- a) Foram utilizadas como padrão as amostras geradas por testes isotérmicos (Tabela 2), as quais não sofreram qualquer tipo de tratamento. Consistiam de paralelepípedos de cerca de (600 x 280 x 210) mm. Para cada amostra foi atribuído um valor, que foi crescente,
15 de acordo com o crescimento da degradação microestrutural observada por análise metalográfica. Os valores atribuídos foram 1, 2, 3, 4, 5 e 6. De acordo com esta atribuição foi medido o nível de degradação microestrutural em conjuntos de amostras teste, segundo conjunto de amostras padrão geradas por testes isotérmicos,
20 conforme ilustrado na Tabela 3 mais abaixo, e com o conjunto de amostras padrão geradas por testes de fluência ilustrado na Tabela 1;
- b) Construção de uma curva de classificação considerando os valores atribuídos às amostras como variável independente e as medidas espectrais como variável dependente. Nesta etapa utilizam-se os
25 algoritmos: PLS (Regressão por Mínimos Quadrados Parciais) ou PCR (Regressão por Componentes Principais). Foram obtidos coeficientes de correlação (r) da ordem de 0,94;
- c) A validação da metodologia de análise foi obtida por meio de validação cruzada. Esta validação consiste em repetir tantas vezes
30 quanto for a quantidade de amostras a análise efetuada, retirando do conjunto de amostras apenas uma delas e analisando o conjunto

restante; a seguir retirando uma segunda amostra e retornando a primeira amostra ao conjunto; assim repetindo o procedimento até que todas as amostras tenham sido retiradas e recolocadas no conjunto de amostras;

- 5 d) Determinação das microestruturas de amostras teste aplicando a curva de classificação construída, conforme ilustrado nas Tabelas 4 e 5 mais adiante.

TABELA 3

Medida	Corpo de Prova	Tempo (h)	Camada de Óxido
I	CPI1	3	Sim
II		3	Sim
III	CPI2	30	Sim
IV		30	Sim
V	CPI3	100	Sim
VI		100	Sim
VII	CPI4	300	Sim
VIII		300	Sim
IX	CPI5	500	Sim
X		500	Sim
XI	CPI6	1000	Sim
XII		1000	Sim
XIII	CPI7	0	Não
XIV		0	Não

O método da presente invenção tem as vantagens adicionais de:

- 10 (a) ser um método não-destrutivo;
 (b) ser passível de aplicação em campo,
 (c) ser prático; e
 (d) ter baixo custo.

Adicionalmente ainda, tem as vantagens competitivas de o tempo de

irradiação do material não ter que ser longo e da intensidade não requer fontes de irradiação com alto custo como, por exemplo, luz de síncrotron.

TABELA 4

Amostras	Previsão	Desvio
FLU 670°C 231h A	0.17	0.599
FLU 670°C 231h B	0.602	0.466
FLU 670°C 760h A	1.036	0.278
FLU 670°C 760h B	1.418	0.248
FLU 670°C 1070h A	1.849	0.157
FLU 670°C 1070h B	2.198	0.148
FLU 670°C 1509h A	2.53	0.141
FLU 670°C 1509h B	2.882	0.162
FLU 670°C 2030h A	3.296	0.165
FLU 670°C 2030h B	3.582	0.189
FLU 670°C 2582h A	3.959	0.199
FLU 670°C 2582h B	4.247	0.199

TABELA 5

Amostras	Previsão	Desvio
700-3H	0.659	0.344
700-3H	0.895	0.312
700-30H	1.792	0.316
700-30H	2.104	0.355
700-100H	2.906	0.555
700-100H	3.407	0.463
700-300H	4.225	0.558
700-300H	4.428	0.535
700-500H	5.568	0.245
700-500H	5.736	0.238
700-1000H	5.686	0.844
700-1000H	5.689	0.957

REIVINDICAÇÕES

1. MÉTODO PARA MONITORAR DEGRADAÇÃO ESTRUTURAL E FALHAS EM MATERIAIS caracterizado por compreender as seguintes etapas:
 - 5 a. coletar e preparar amostras padrão com a finalidade de servirem como teste para a definição final das variáveis de interesse;
 - b. obter os espectros de Fluorescência de Raios-X resultante da irradiação das amostras padrão;
 - 10 c. construir uma matriz de dados de forma tal que cada linha corresponda ao espectro de cada amostra e cada coluna e aos seus respectivos valores de energia;
 - d. efetuar o pré-processamento matemático dos espectros obtidos que pode ser escolhido entre centrar a matriz na média e autoescalar a matriz, utilizando algoritmos adequados;
 - 15 e. construir a curva de classificação multivariada dos dados;
 - f. obter os espectros de Fluorescência de Raios-X resultante da irradiação de amostras de interesse;
 - g. efetuar o processamento matemático dos dados obtidos;
 - h. aplicar a curva de classificação construída para determinação direta do estágio de degradação micro estrutural a partir de amostras 20 padrão validadas;
 - i. calcular os níveis de confiança da determinação efetuada utilizando as técnicas estatísticas já incorporadas no algoritmo utilizado para calibração;
 - 25 j. montar e testar o dispositivo sensor utilizando as amostras teste, de acordo com as especificidades a serem identificadas.
2. MÉTODO PARA MONITORAR DEGRADAÇÃO ESTRUTURAL E FALHAS EM MATERIAIS de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por determinar o estágio de degradação por meio da associação de análise 30 multivariante de dados, aplicada a espectros obtidos por irradiação dos materiais com Raios-X nas regiões do espectro entre 5 keV e 22 keV.
3. MÉTODO PARA MONITORAR DEGRADAÇÃO ESTRUTURAL E

- FALHAS EM MATERIAIS de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por determinar de forma qualitativa direta e de forma quantitativa direta o estágio de degradação estrutural por meio da associação de análise quimiométrica, aplicada a espectros obtidos por irradiação dos materiais com Raios-X, nas regiões de espectro entre 5 keV e 22 keV.
- 5
4. MÉTODO PARA MONITORAR DEGRADAÇÃO ESTRUTURAL E FALHAS EM MATERIAIS de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por a determinação dos referidos estágios de degradação micro estrutural ser realizada por método não destrutivo.
- 10
5. MÉTODO PARA MONITORAR DEGRADAÇÃO ESTRUTURAL E FALHAS EM MATERIAIS de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por utilizar para a análise exploratória dos dados os algoritmos para Análise de Componentes Principais (PCA) e Análise Hierárquica de Agrupamentos (HCA).
- 15
6. MÉTODO PARA MONITORAR DEGRADAÇÃO ESTRUTURAL E FALHAS EM MATERIAIS de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por empregar calibração multivariada de dados, algoritmos para Análise por Mínimos Quadrados Parciais (PLS) e Regressão por Componentes principais (PCR).
- 20
7. MÉTODO PARA MONITORAR DEGRADAÇÃO ESTRUTURAL E FALHAS EM MATERIAIS de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por permitir que os dados sejam transmitidos para uma estação de controle.
8. DISPOSITIVO SENSOR caracterizado por ser um equipamento misto que apresenta a capacidade de proceder medições e análise de dados de
- 25
- medição de fluorescência e espalhamento de raio X em tempo real de materiais, em bancada ou em campo, onde as amostras não necessitam de tratamento prévio, e por compreender os seguintes componentes:
- a) Integração de circuitos dedicados que, por sua vez compreende: uma fonte de raio X; detectores de fótons; pré-amplificadores e filtros; um
- 30
- bloco de aquisição de dados em tempo real; e um bloco de atuadores e interlocks.
- b) Integração de código de programação que por sua vez compreende:

um bloco de tratamento de dados e estatística; um bloco de especialista e tomada de dados; uma interface gráfica; uma interface homem-máquina; um bloco de controle de parâmetros lentos e interlock.

9. DISPOSITIVO SENSOR de acordo com a reivindicação 8 caracterizado

5 por apresentar, adicionalmente, as seguintes características funcionais:

- a) Área de incidência na amostra de 1 mm^2 a 50 cm^2 ;
- b) Tempo de irradiação da amostras entre 1 e 1000 segundos;
- c) Sistema opcional de filtros - para selecionar a emissão fluorescente; e
- d) Detecção dos fótons tanto em função da energia, quanto do tempo ou
10 ainda da perda de energia;
- e) Sistema opcional inteligente - para excitação e aquisição de acordo com o modelo matemático específico do dispositivo sensor;
- f) Sistema opcional de auto-calibração;
- h) Sistema opcional de tomada de decisões.

15

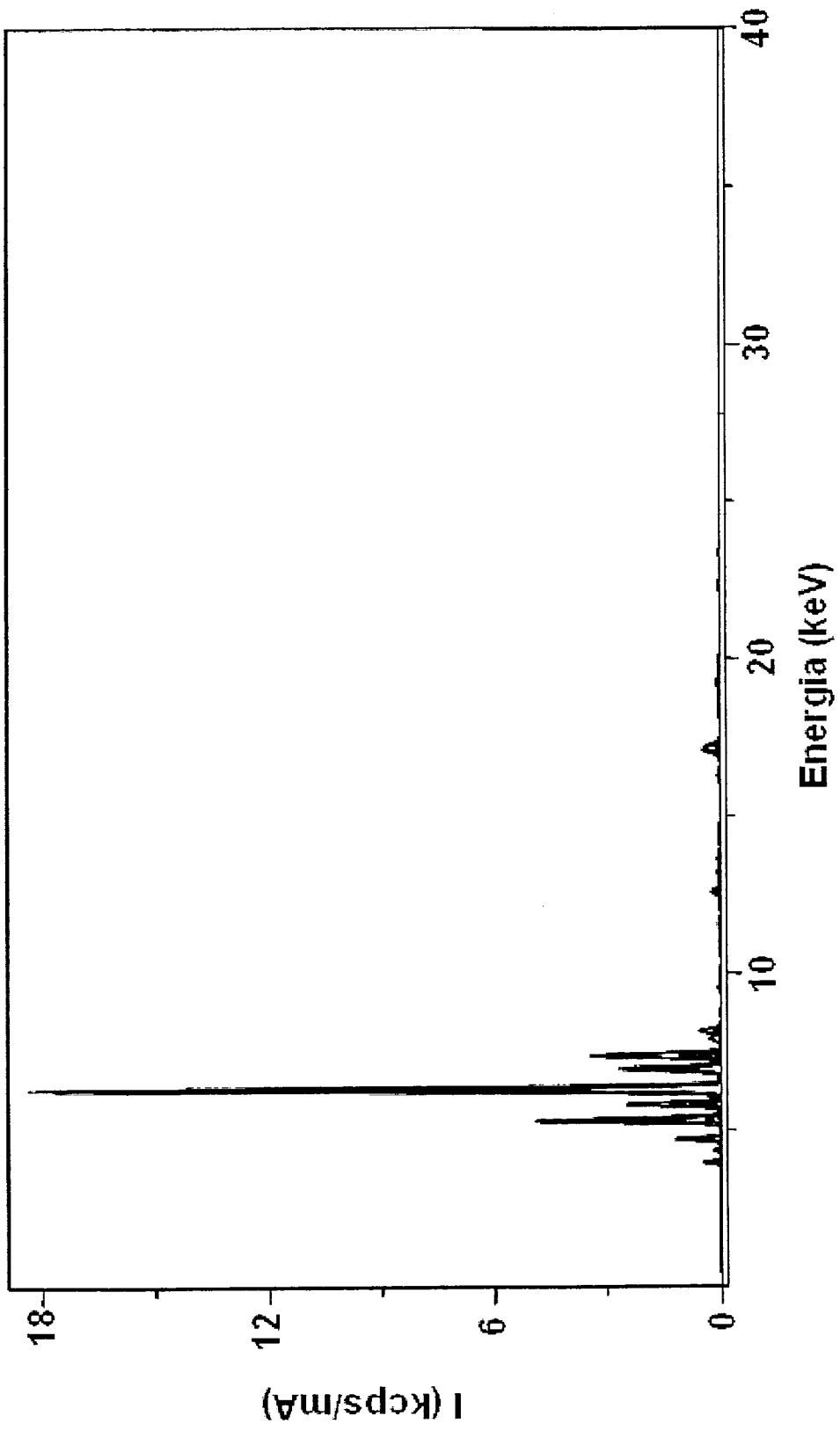


FIG.1

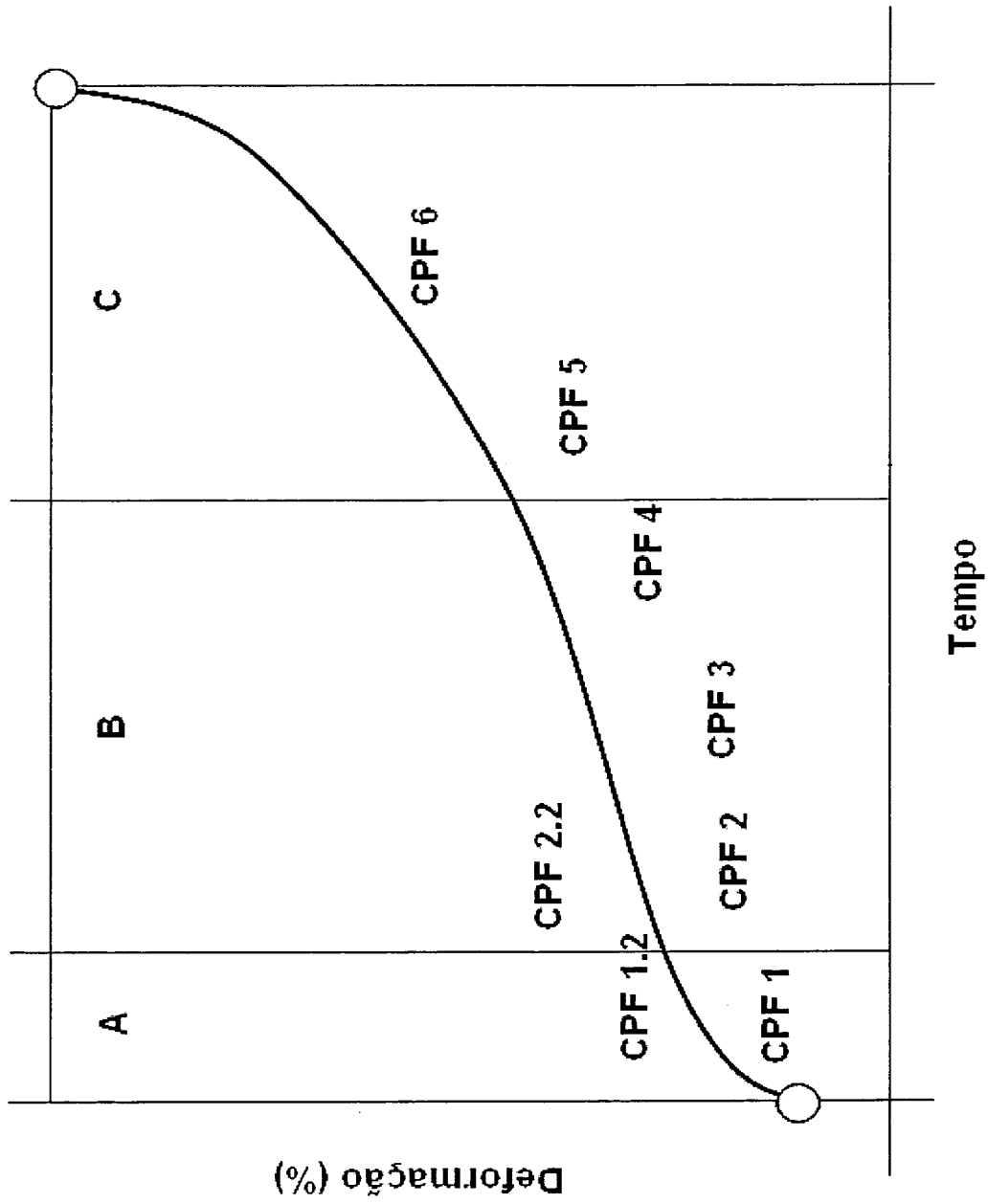


FIG. 2

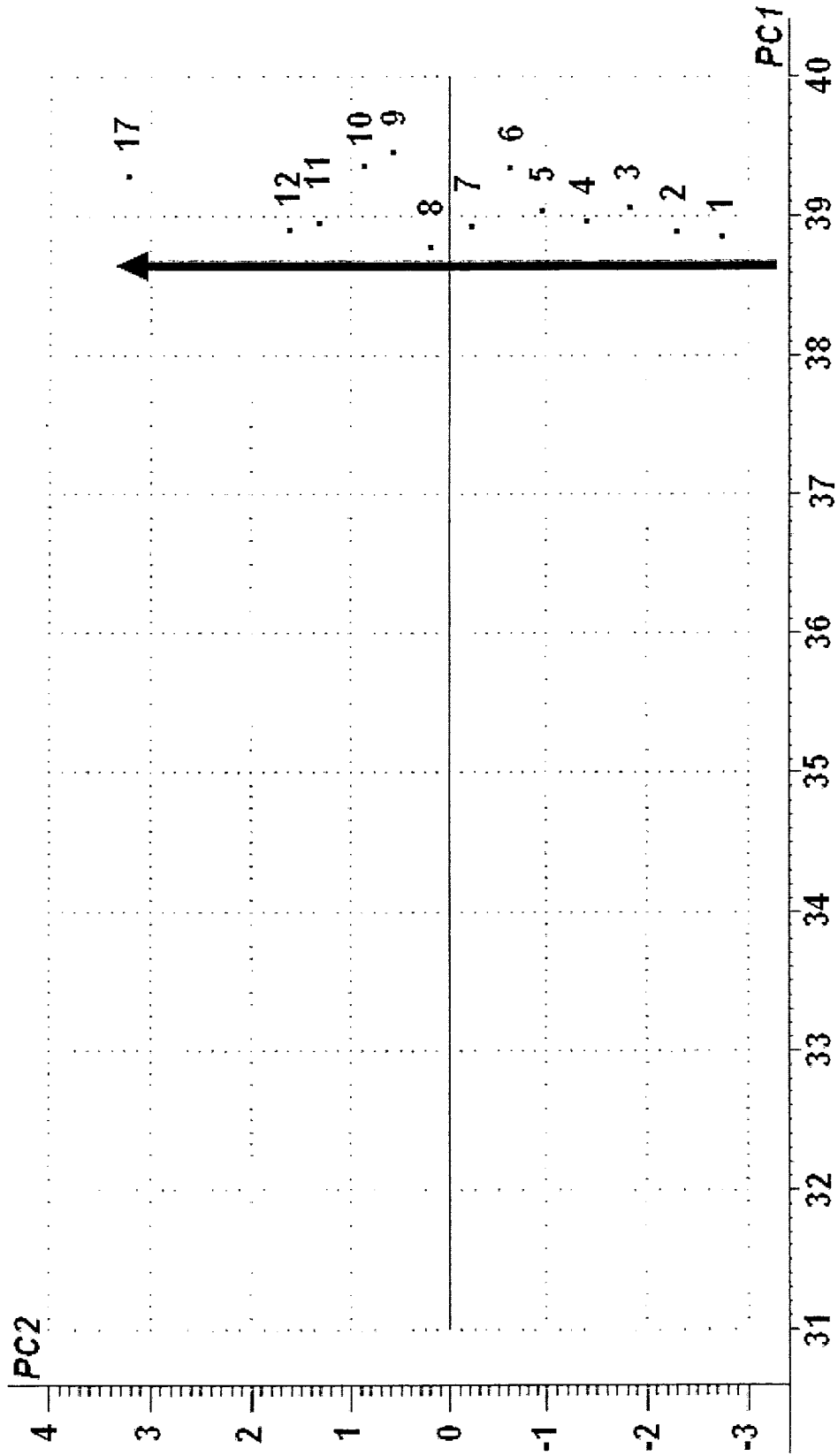


FIG. 3

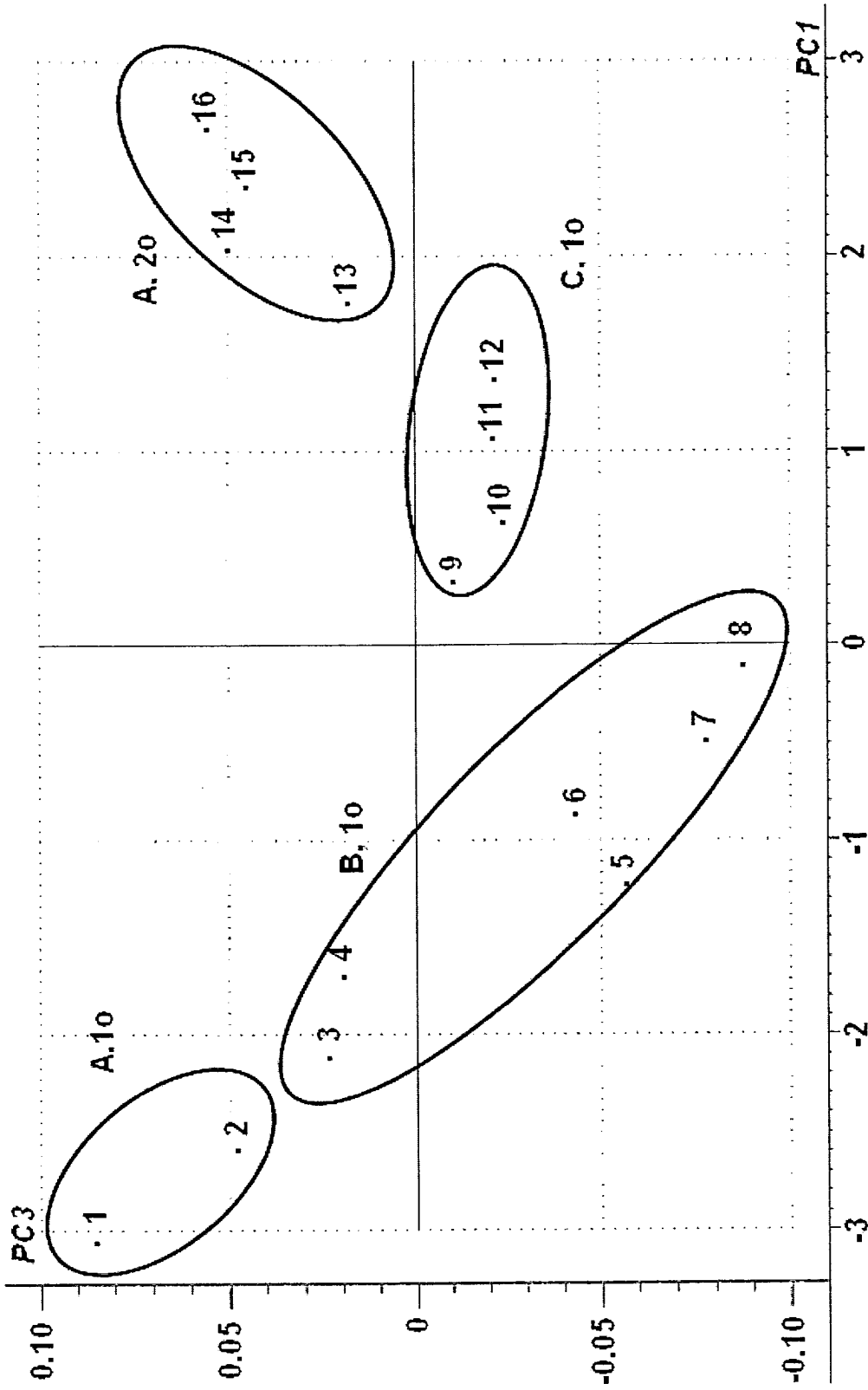


FIG. 4

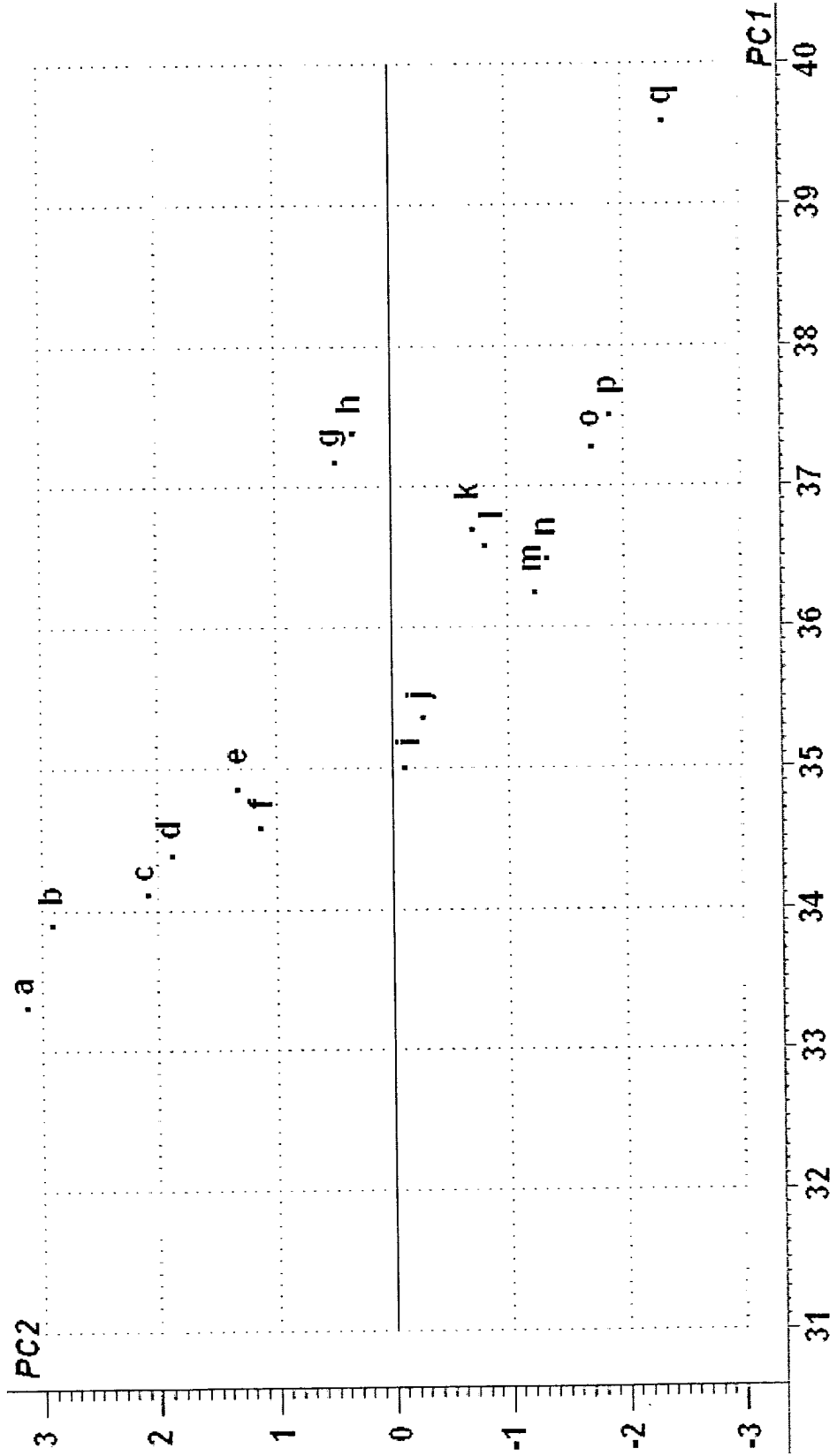


FIG.5

RESUMO**MÉTODO PARA MONITORAR DEGRADAÇÃO ESTRUTURAL E FALHAS
EM MATERIAIS E DISPOSITIVO SENSOR**

A presente invenção refere-se a um método de monitoramento da
5 degradação estrutural e de falhas em materiais por intermédio da análise
dos espectros fornecidos por esses materiais quando submetidos à radiação
X. Mais particularmente a invenção se refere à determinação direta do
estágio de degradação micro estrutural por fluência, exposição a
temperatura ou outros processos, em aços, ligas metálicas, vidros,
10 compósitos, plásticos, materiais poliméricos, entre outros. A invenção tem
emprego no monitoramento da qualidade de dutos, recipientes, tanques,
equipamentos industriais em geral.