



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

(11) BR 102012026956-2 B1



(22) Data do Depósito: 21/09/2012

(45) Data de Concessão: 21/12/2021

(54) Título: MATERIAL COM ADIÇÃO DE MARCADORES MAGNÉTICOS PARA AVALIAÇÃO NÃO-DESTRUTIVA DE INTEGRIDADE E SEU MÉTODO DE FABRICAÇÃO E APLICAÇÃO

(51) Int.Cl.: H01F 1/42.

(73) Titular(es): UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE; UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO.

(72) Inventor(es): CARLOS ALBERTO PASKOCIMAS; SUZANA NOBREGA DE MEDEIROS; JOSÉ DANIEL DINIZ MELO; ANA PAULA PEREIRA FULCO; ALEXANDRE RICALDE RODRIGUES; FERNANDO LUIS DE ARAUJO MACHADO.

(57) Resumo: MATERIAL COM ADIÇÃO DE MARCADORES MAGNÉTICOS PARA AVALIAÇÃO NÃO-DESTRUTIVA DE INTEGRIDADE E SEU MÉTODO DE FABRICAÇÃO E APLICAÇÃO. Refere-se a presente patente a materiais poliméricos contendo partículas (micrométricas ou nanométricas) com propriedades ferrimagnéticas, tais como, ferritas ($AF_{e-2}O_{4-4}$, sendo $A = Sr, Ba, Mg, Ca, Zn, Mn, Ni, e Co$, podendo ser dopadas com elementos de terras raras) e/ou ferromagnéticas, tais como, ligas metálicas a base dos elementos Fe, Ni, Co, Gd, Dy e terras raras, além do processo de produção e aplicação destes materiais. Mais amplamente, esta patente propõe o uso de partículas com propriedades magnéticas em matrizes poliméricas, com a função de marcadores de defeitos estruturais, tais como, trincas, microtrincas, fissuras, bolhas, microbolhas, delaminação, desgaste e não conformidades de fabricação que gerem algum tipo de heterogeneidade estrutural. Esta característica do referido material se manifesta quando uma região do mesmo é submetida a um campo magnético, magnético, gerado por um módulo magnetizador, com intensidade suficiente para promover a magnetização das partículas ferrimagnéticas ou ferromagnéticas, sendo que, entre os pólos do referido módulo magnetizador é posicionado um detector ou sensor de campo magnético, sendo este, preferencialmente, um sensor de efeito Hall. Os referidos defeitos e heterogeneidade estruturais são (...).

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "MATERIAL COM ADIÇÃO DE MARCADORES MAGNÉTICOS PARA AVALIAÇÃO NÃO-DESTRUTIVA DE INTEGRIDADE E SEU MÉTODO DE FABRICAÇÃO E APLICAÇÃO".

5

Refere-se a presente patente a materiais poliméricos contendo partículas (micrométricas ou nanométricas) com propriedades ferrimagnéticas, tais como, ferritas (AFe_2O_4 , sendo $\text{A}=\text{Sr}$, Ba , Mg , Ca , Zn , Mn , Ni e Co , podendo ser dopadas com elementos de terras raras) e/ou

10 ferromagnéticas, tais como, ligas metálicas a base dos elementos Fe , Ni , Co , Gd , Dy e terras raras, além do processo de produção e aplicação destes materiais. Mais amplamente, esta patente propõe o uso de partículas com propriedades magnéticas em matrizes poliméricas, com a função de marcadores de defeitos estruturais, tais como, trincas,

15 microtrincas, fissuras, bolhas, microbolhas, delaminação, desgaste e não conformidades de fabricação que gerem algum tipo de heterogeneidade estrutural. Esta característica do referido material se manifesta quando uma região do mesmo é submetida a um campo magnético, gerado por um módulo magnetizador, com intensidade suficiente para promover a

20 magnetização das partículas ferrimagnéticas ou ferromagnéticas, sendo que, entre os pólos do referido módulo magnetizador é posicionado um detector ou sensor de campo magnético, sendo este, preferencialmente, um sensor de efeito Hall. Os referidos defeitos e heterogeneidade estruturais são detectados devido ao efeito de "vazamento de fluxo

25 magnético" a partir do qual é possível identificar o tipo de defeito, determinar seu tamanho e a sua localização, visto que, nas referidas falhas ocorre uma variação na intensidade do campo magnético relativamente à região em seu entorno, o que é percebido por meio dos referidos sensores de campo magnético. Este invento propõe,

preferencialmente, o uso de matrizes poiméricas tais como, mas não limitadas a: poliéster, poliuretanas, poliacetatos, epóxi, éster-vinílica, bismaleimidas, poliimidas, fenólicas, ureicas, melamínicas, polipropileno, polietileno, policarbonato, polimetacrilato de metila, poliestireno, poliamida, polietilenotereftalato, policloreto de vinila, baquelite, policloropreno, poli-isopreno, buna-S, buna-N, SBR, politetrafluoretileno, copolímero acrilonitrila butadieno estireno, polibutileno tereftalato, polifenileno de sulfito, polieterimida, polisulfona, polihidroxicarbonato, plásticos especiais e de engenharia, e blendas e combinações destes.

Este invento propõe ainda a possibilidade do uso de fases de reforço, tais como, partículas, fibras, fitas, lâminas, plaquetas, ou tecidos a base de materiais como, mais não limitados a, vidro, carbono, aramida, basalto, polietileno ou poli(p-fenileno benzo bisoxazol) admitindo-se a combinação entre as referidas fases de reforço.

Uma das técnicas de inspeção não-destrutiva mais importantes atualmente para avaliação de componentes estruturais é a que se baseia na detecção de “Vazamento de Fluxo Magnético (Magnetic Flux Leakage – MFL)”. As principais razões por esta preferência são a praticidade de execução associada à confiabilidade.

Seu princípio de funcionamento se baseia na exposição de uma seção de um componente ou de uma estrutura a um campo magnético de elevada intensidade, visando magnetizar a região do material em questão. A magnetização é proporcionada por no mínimo um módulo magnetizador constituído de um componente dipolar, ou seja, norte e sul, entre os quais, ficam localizados os sensores de campo magnético. Estes sensores, por sua vez, podem ser de diversas tecnologias, sendo que a mais utilizada é a de sensores de efeito Hall. Um sensor Hall ao ser submetido à ação de um campo magnético gera uma resposta de tensão proporcional à intensidade do campo aplicado. Deste modo, se

houver uma variação da intensidade do campo magnético, esta poderá ser percebida pela variação da diferença de potencial medida no referido sensor.

Nas práticas de avaliação não-destrutiva realizadas em máquinas, equipamentos ou estruturas, a intensidade do campo magnético ao longo de um determinado material, ou seção de uma determinada parte de uma estrutura, variará em função da presença de elementos que gerem alterações em seu volume ou em sua superfície, tais como, fissuras, trincas, microtrincas, bolhas, inclusões, erosão, corrosão etc. Estas alterações se traduzem em variações da magnetização do material submetido ao campo magnético, o que será percebido pelo sensor Hall como uma variação da intensidade de tensão, provocada pela variação da intensidade do campo magnético na região do defeito e em seu entorno. Reforçando, se houver uma área de perda de material ou de descontinuidade volumétrica ou mesmo de modificação da morfologia, o campo magnético no entorno daquela área varia, assim como o valor de tensão medido pelo sensor de campo magnético.

Os dados medidos pelos sensores são enviados para um sistema eletrônico, que detecta o sinal produzido pelo sensor magnético, amplificando o mesmo, e enviando para um sistema de registro e armazenamento de dados, que pode ser um computador.

Apenas para citar um exemplo - um dos setores que mais se utiliza da prática de inspeção magnética são as indústrias de exploração de petróleo e gás e de produção de seus derivados. Este setor se utiliza de um grande complexo de dutos metálicos para realização de suas operações em terra e em mar, por meio dos quais são deslocados o petróleo, gás natural, os fluidos de processo, bem como, os derivados de petróleo e de gás natural. Neste setor, a técnica de inspeção magnética assume uma configuração muito particular que é denominada de

tecnologia de "PIG's", que consiste em reunir em um único conjunto o módulo de magnetização, o módulo sensor de campo magnético, um módulo de georeferenciamento (normalmente um GPS ou um odômetro) e um módulo de eletrônica e registro de dados que comanda e interage com os demais módulos, formando um sistema integrado. Para cada linha de fluido, o conjunto "PIG" dispõe de uma geometria específica, ou seja, forma e dimensão que permitam o seu deslocamento pelo interior da mesma, ou seja, o "PIG" passa pelo interior dos dutos percorrendo longas distâncias e realizando curvas, ao mesmo tempo em que interage magneticamente com as paredes metálicas dos dutos, medindo, registrando e georeferenciando as respostas magnéticas, que são armazenadas em um banco de dados para posterior interpretação dos resultados.

Esta tecnologia permite identificar com grande eficácia a presença de áreas desgastadas ou de falhas nas paredes de dutos metálicos, sendo considerado o modo mais versátil de verificação de defeitos em sistemas de dutos. Atualmente, está disponível no mercado uma gama de diferentes tipos de "PIG's", permitindo atender às diversas aplicações específicas, sendo considerada uma das tecnologias de inspeção mais promissoras.

O crescimento do sistema de transporte dutoviário, bem como, de uma série de outras aplicações, depende de avanços tecnológicos de engenharia. Dentre os requisitos de projeto, destaca-se a importância dos materiais de um modo geral que, evidentemente, devem atender a uma série de atributos técnicos específicos. Atualmente, surgem continuamente demandas por materiais capazes de suportar condições de serviço muito severas, que se caracterizam por operações ininterruptas, em condições não usuais de temperatura e pressão, e sob a ação de agentes agressivos quimicamente e fisicamente. Ressalta-se

ainda que estes materiais devam apresentar características específicas que permitam que sua integridade estrutural ou funcional seja continuamente ou periodicamente monitorada, com o intuito de detectar ou prever a formação de defeitos que possam conduzir à formação de falhas catastróficas. Esta exigência é cada vez frequente em determinados setores, tais como, indústria aeronáutica, espacial, automobilística, naval, ferroviária etc, por envolverem questões de segurança a vida humana. E ainda, em setores econômicos que, potencialmente, envolvem grandes riscos ambientais, tais como, extração de petróleo, mineração, refinarias, químicas, siderúrgicas, celulose e outras indústrias de transformação.

Adicionalmente, os materiais utilizados na construção de estruturas/equipamentos/máquinas/veículos devem apresentar atributos técnicos adequados às operações de inspeção preventiva e preditiva, o que impõe aos engenheiros de projeto uma série de limitações de escolha.

No caso específico da técnica de inspeção magnética, durante a realização de um projeto de engenharia, a etapa de seleção de materiais conduz forçosamente ao uso de ligas metálicas com propriedades ferromagnéticas, ou seja, aços. Resulta que o projetista, respeitando esta necessidade de inspeção, é forçado a descartar o uso de materiais que muitas vezes são mais adequados tecnicamente e economicamente, tais como, os polímeros e os compósitos de matriz polimérica. Esta classe de materiais é a que mais cresce em termos de inovações tecnológicas e, portanto, em novas aplicações de engenharia.

Esta visão é contemplada no contexto desta patente, por meio de um experimento que será apresentado como exemplo ilustrativo do presente invento, que se relaciona com a aplicação da técnica de inspeção magnética em materiais compósitos de matriz polimérica.

Quando ao estado da técnica, não se tem conhecimento de outros produtos e/ou processos que sejam similares ao ora reivindicado, entretanto apresentamos, a seguir, uma revisão de patentes a cerca de alguns produtos e/processos para efeitos comparativos e demonstração da novidade do invento ora proposto:

Uma aplicação particular de referido material compósito é encontrada em tubulações de compósitos. O pedido de patente internacional número US 5,354,521 descreve um método para a localização de tubulações enterradas, de modo que possam ser facilmente localizadas, e diz respeito mais especificamente ao desenvolvimento de um material para a localização magnética de tubos poliméricos, mais precisamente as ferritas de estrôncio e bário. Portanto, o referido documento difere da presente patente, visto que não se aplica a determinação de medição de defeitos contidos na estrutura da peça de material compósito.

O pedido de patente internacional número US 5,747,998 descreve aparelhos e métodos para detecção de defeitos estruturais em tubos de ferro, que transportam gás natural ou oleodutos, através do uso de sensores magnéticos que são passados ao longo do interior das estruturas de tubo. O invento não tem como condição essencial a detecção de defeitos em materiais poliméricos.

O pedido de patente internacional número US 2011167914 relata ensaios não-destrutivos e, mais particularmente, métodos de aquisição e processamento de dados de uma pluralidade de tipos de sensores diferentes para ensaios não-destrutivos de estruturas metálicas, a um dispositivo multi-sensor integrado para ensaios não-destrutivos de estruturas metálicas, a métodos de aquisição e processamento de dados de pelo menos dois sinais, e para ensaios não-destrutivos de dutos,

incluindo o uso pigs instrumentados para inspecionar dutos. O invento não tem como objetivo a detecção de defeitos em materiais poliméricos.

O pedido de patente internacional número US 5,173,139 está relacionado com marcadores magnéticos que são utilizados na detecção de objetos alongados escondidos, tais como tubos poliméricos enterrados, dutos ou canalizações ou cabos de fibra óptica. O presente invento não tem como objetivo a detecção e medição de defeitos.

A fim de obter uma completa visualização de como é constituído o aparato para detecção e medição de defeitos, ora em questão e o material da presente patente de invenção, acompanham os desenhos ilustrativos anexos, aos quais se faz referência conforme segue:

A figura 1 ilustra um difratograma de raios X do pó de ferrita de bário.

A figura 2 ilustra um difratograma de raios X do pó de ferrita de estrôncio.

A figura 3 ilustra uma micrografia obtida por microscopia eletrônica de varredura (MEV), referente ao compósito de poliéster ortoftálico aditivado com 10% em peso de ferrita de bário.

A figura 4 ilustra uma micrografia obtida por microscopia eletrônica de varredura (MEV), referente ao compósito de poliéster ortoftálico aditivado com 10% em peso de ferrita de estrôncio.

A figura 5 ilustra uma imagem do “disco compósito magnético” com a indicação dos quatro tipos de entalhes utilizados para realização das medidas de posicionamento e tamanho de defeito.

A figura 6 ilustra o gráfico que correlaciona os valores de intensidade do campo magnético em função da distância percorrida passando pelo defeito tipo I, para o compósito de ferrita de bário.

A figura 7 ilustra o gráfico que correlaciona os valores de intensidade do campo magnético em função da distância percorrida passando pelo defeito tipo I, para o compósito de ferrita de estrôncio.

5 A figura 8 ilustra o gráfico que correlaciona os valores de intensidade do campo magnético em função da distância percorrida passando pelo defeito tipo II, para o compósito de ferrita de bário.

A figura 9 ilustra o gráfico que correlaciona os valores de intensidade do campo magnético em função da distância percorrida passando pelo defeito tipo II, para o compósito de ferrita de estrôncio.

10 A figura 10 ilustra o gráfico que correlaciona os valores de intensidade do campo magnético em função da distância percorrida passando pelo defeito tipo III, para o compósito de ferrita de bário.

A figura 11 ilustra o gráfico que correlaciona os valores de intensidade do campo magnético em função da distância percorrida passando pelo defeito tipo III, para o compósito de ferrita de estrôncio.

15 A figura 12 ilustra o gráfico que correlaciona os valores de intensidade do campo magnético em função da distância percorrida passando pelo defeito tipo IV, para o compósito de ferrita de bário.

A figura 13 ilustra o gráfico que correlaciona os valores de intensidade do campo magnético em função da distância percorrida passando pelo defeito tipo IV, para o compósito de ferrita de estrôncio.

A presente invenção refere-se a um material idealizado para permitir a identificação de defeitos por meio de técnicas de inspeção magnética.

25 O referido material é um compósito de matriz polimérica que contém, como uma das fases dispersas, partículas com propriedades ferrimagnéticas ou ferromagnéticas.

Esta invenção contempla o uso de partículas com propriedades magnéticas tanto de dimensões nanométricas como de dimensões

micrométricas, sendo preferencialmente utilizadas partículas ferrimagnéticas, tais como, ferritas (AFe_2O_4 , sendo $A=Sr, Ba, Mg, Ca, Zn, Mn, Ni$ e Co , podendo ser dopadas com elementos de terras raras) e/ou ferromagnéticas, tais como, ligas metálicas a base dos elementos Fe, Ni, Co, Gd, Dy e terras raras.

A referida matriz polimérica pode ser formada por materiais tais como, mas não limitados a: poliéster, poliuretanas, poliacetatos, epóxi, éster-vinílico, bismaleimidas, poliimidas, fenólicas, ureicas, melamínicas, polipropileno, polietileno, policarbonato, polimetacrilato de metila, poliestireno, poliamida, polietilenotereftalato, policloreto de vinila, baquelite, policloropreno, poli-isopreno, buna-S, buna-N, SBR, politetrafluoretileno, copolímero acrilonitrila butadieno estireno, polibutileno tereftalato, polifenileno de sulfito, polieterimida, polisulfona, polihidroxialcanoato, plásticos especiais e de engenharia, e blends e combinações destes.

Esta invenção contempla o uso de fibras longas ou curtas com o intuito de reforço mecânico do referido compósito com propriedades magnéticas. Preferencialmente, podem ser utilizadas as fibras de vidro, fibras de carbono ou fibras de aramida. O referido compósito com propriedades magnéticas pode ser conjugado com fitas, lâminas ou tecidos a base de vidro, carbono, aramida basalto, polietileno ou poli(p-fenileno benzo bisoxazol) admitindo-se a combinação entre as referidas fases de reforço.

Esta invenção contempla o uso de cargas, tais como, talco, areia de quartzo, carbonatos, argilas, negro de fumo (carbon black), óxido de titânio, sílica nanométrica, carбето de silício e hidróxido de alumínio.

Esta invenção contempla o uso de aditivos compatibilizadores de superfície, tais como, silanos.

Esta invenção contempla o uso de aditivos corantes ou pigmentantes da matriz poliméricas, podendo-se utilizar corantes orgânicos ou pigmentos inorgânicos.

5 Mais amplamente, esta patente propõe o uso de partículas com propriedades magnéticas em matrizes poliméricas, com a função de marcadores de defeitos estruturais, tais como, trincas, microtrincas, fissuras, bolhas, microbolhas, delaminação, desgaste, e de não conformidades de fabricação que gerem algum tipo de heterogeneidade estrutural ou descontinuidade volumétrica ou morfológica.

10 Esta característica do referido compósito se manifesta quando uma região do mesmo é submetida a um campo magnético, gerado por um módulo magnetizador, com intensidade suficiente para promover a magnetização das partículas ferrimagnéticas ou ferromagnéticas, sendo que, entre os pólos do referido módulo magnetizador é posicionado um
15 detector ou sensor de campo magnético, sendo este, preferencialmente, um sensor de efeito Hall.

Os referidos defeitos e heterogeneidades estruturais são detectados devido ao efeito de “vazamento de fluxo magnético”, a partir do qual é possível identificar o tipo de defeito, determinar seu tamanho e
20 a sua localização, visto que, nas referidas falhas ocorre uma variação na intensidade do campo magnético relativamente à região em seu entorno, o que é percebido por meio dos referidos sensores de campo magnético. Exemplo relacionado ao material com adição de marcadores magnéticos para avaliação não-destrutiva de integridade e seu método de fabricação
25 e aplicação, descrito como detalhes ilustrativos da presente invenção, que não devem ser entendidos como limitadores dos campos de abrangências da presente patente:

Para efeito comparativo, são apresentadas nesta seção duas composições típicas para compósitos com matriz de poliéster reforçadas

com fibra de vidro, sendo uma composição aditivada com partículas micrométricas a base de ferrita de bário e a outra com partículas micrométricas de ferrita de estrôncio. As amostras de ferrita na forma de partículas foram analisadas pela técnica de difração de raios X, visando
5 determinar as fases cristalinas que compõem esses materiais. Foram identificadas as fases $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ e $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$, respectivamente para identificadas na Figura 1, correspondente a ferrita de bário, e na Figura 2, correspondente a ferrita de estrôncio. A área superficial obtida para ferrita de bário foi de $1,393 \text{ m}^2/\text{g}$, volume médio de poros de $0,321 \text{ cm}^3/\text{g}$
10 e tamanho médio do poros de $2,043 \text{ nm}$. Em comparação com a ferrita de estrôncio a área obtida foi ligeiramente inferior, sendo a área superficial de $1,028 \text{ m}^2/\text{g}$, o volume médio de poro de $0,236 \text{ cm}^3/\text{g}$, e o tamanho médio do poro $2,023 \text{ nm}$.

Este exemplo refere-se a um componente, com a geometria de um
15 disco, a base de material compósito com propriedades magnéticas, sendo este constituído por resina poliéster na fase matriz, fibra de vidro na fase de reforço e por partículas de ferrita de bário dispersas na matriz de poliéster. Neste exemplo específico, são apresentados os resultados para a formulação contendo 10% em peso de partículas magnéticas
20 relativamente a quantidade de resina de poliéster ortoftálica.

O referido disco foi confeccionado pela técnica de laminação manual (Hand Lay-up). Este processo consiste na deposição sucessiva e sequencial dos constituintes da peça que se pretende confeccionar sobre a superfície de um molde, que no presente caso é um disco de
25 compósito com propriedades magnéticas.

No presente exemplo, preliminarmente, dispersou-se as partículas de ferritas de bário ou de ferrita de estrôncio em uma resina de poliéster ortoftálica, segundo a proporção em massa de 90:10 (resina: partículas). Em seguida, utilizou-se um agitador mecânico com rotação de 1750 rpm,

para promover a mistura e homogeneização da resina de poliéster com as partículas de ferrita, por um período de 20 segundos. Este tipo de misturador provê uma alta taxa de cisalhamento, capaz de desaglomerar as partículas cerâmicas de ferrita em meio à resina, obtendo-se nesta
5 etapa uma resina de poliéster aditivada com partículas de ferrimagnéticas (ferritas de bário ou ferritas de estrôncio). Em seguida, acrescentou-se à resina os agentes catalisadores e aceleradores de cura.

Uma vez obtida a referida resina aditivada com partículas de
10 ferritas de bário ou com ferritas de estrôncio, procede-se a confecção da peça. Deste modo, procedeu-se a deposição de uma manta de fibra de vidro impregnada com a resina de poliéster aditivada com ferrita (de bário ou de estrôncio) sobre a superfície de um molde com formato de disco, e em seguida, foram alternadas a deposição de resina e de fibra de vidro
15 picada e de areia de sílica até se atingir a espessura desejada. Desta forma, as camadas individuais que compõem o referido disco, são sucessivamente construídas, uma posterior a outra em uma placa plana formada por uma manta de fibra de vidro e por fibras de vidro impregnadas com a resina de poliéster aditivada com as partículas de
20 ferrita. Após a aplicação de cada camada, são passados rolos de compactação para auxiliar na remoção de bolhas e promover um melhor compactação entre as sucessivas camadas.

De acordo com o presente exemplo, o disco de compósito é preparado por um processo de moldagem manual. A confecção do disco
25 é concluída após a deposição de 15 camadas, com dimensões finais de 500 mm de diâmetro e 15 mm de espessura. Depois de completado o processo de cura da resina polimérica, aditivada com partículas de ferrita, a peça é desmoldada.

Foram preparadas amostras para ambos compósitos, para obtenção de detalhes microestruturais. A Figura 3 ilustra uma imagem obtida por microscopia eletrônica de varredura (MEV), no modo de elétrons retroespalhados, para a ferrita de bário, na qual é possível
5 identificar a formação de alguns aglomerados de partículas de ferrita, provavelmente formados por efeitos de coesão magnética característica de partículas de ferrita. No entanto, de um modo geral a dispersão das partículas de ferrita pode ser considerada bastante satisfatória. O mesmo comportamento geral foi verificado para o compósito a base de ferrita de
10 estrôncio, o que é revelado pelo tipo de microestrutura ilustrada na micrografia da Figura 4.

Após isto, procedeu-se a inserção de quatro tipos de entalhes, identificados nesta patente como tipos I, II, III e IV, em áreas pré-selecionadas. Estes entalhes foram realizados com o auxílio de brocas
15 com diâmetros de 16 mm, 28mm, 30 mm e 32 mm, respectivamente, conforme ilustrado na Figura 5.

Ressalta-se que, o mesmo procedimento de preparação das resinas, conformação das peças e simulação dos defeitos foi realizado para o disco contendo partículas de ferrita de bário e para o disco
20 contendo partículas de ferrita de estrôncio.

O arranjo experimental utilizado para demonstrar o funcionamento do referido invento, é mais bem compreendido com o auxílio dos desenhos que acompanham e fazem parte integrante desta patente. Deste modo, a Figura 5 ilustra uma amostra de disco compósito
25 magnético contendo a indicação das cavidades representativas dos defeitos tipos I, II, III e IV. Na Figura 6 é apresentada uma imagem do disco compósito magnético posicionado sobre uma base fixada a um eixo de um motor de passo, sobre o qual é posicionado um ímã e a ponta de um sensor Hall.

Para a realização do método não-destrutivo de detecção e medição dos defeitos, faz-se necessário um dispositivo magnetizador e de um dispositivo sensor de campo magnético. Em especial, tal dispositivo detecta, mede e armazena os registros das intensidades de variações de campo magnéticos provocados pela presença de defeitos. O disco é fixado num eixo de um motor de passo no qual é possível controlar a velocidade e o sentido do giro. Um ímã se mantém fixo próximo ao disco e uma ponta Hall (sensor Hall), também fixa, liga-se a um gaussímetro capaz de medir três componentes perpendiculares (X, Y, Z) do campo magnético que deve ser mantido próximo ao ímã. O instrumento é capaz de determinar com precisão a condição da superfície do defeito, incluindo as características de posição, como por exemplo, a largura do defeito.

O campo magnético produzido pela magnetização da amostra juntamente com as distorções do campo magnético produzidas pelos defeitos são detectados e armazenados pelo sensor Hall. O sensor pode ser qualquer dispositivo ou componente capaz de detectar um campo magnético ou fluxo magnético. O sensor pode ser acoplado a um suporte posicionado próximo ao ímã. Os dados podem ser adquiridos via computador, utilizando-se uma interface de aquisição de dados e as variações de sinais ocorridas apresentadas em gráficos. Para verificar a reprodutibilidade dos resultados, o sentido da rotação dos discos é invertido nos limites de cada defeito se utilizado um controlador de motor de passo.

A presente invenção permite identificar a ocorrência de curvas simétricas sobre o ponto de retorno do defeito que indica uma clara contribuição do entalhe para a deformação das linhas do campo magnético sobre a região. Por conseguinte, uma contramedida para

eliminar falhas de operação pode ser executada, ou seja, cada região do entalhe deve ser medida no mínimo três vezes, em ambas as direções.

As figuras 6 a 13 apresentam os gráficos de campo magnético (Oe) versus distância (mm) para os entalhes I, II, III e IV, respectivamente, presentes nos discos de compósito com adição de ferritas de bário e de estrôncio. O início e o final de cada entalhe marcados nas figuras coincidem com as dimensões determinadas nos discos. Os entalhes I, II, III e IV tem comprimentos, respectivamente, de 16 mm, 30 mm, 28mm e 32 mm, confirmando desta forma que o sinal de campo obtido é característico de cada defeito. Pode-se observar também a repetição dos sinais medidos nos sentidos horário e anti-horário, indicando excelente reprodutibilidade dos resultados de medição. No exemplo descrito, as medidas nos discos com ferritas de bário apresentaram menor dispersão. No entanto, este comportamento não invalida o uso de compósitos a base de ferritas de estrôncio para a referida aplicação.

Estes resultados demonstram que a adição de partículas ferrimagnéticas, ou alternativamente de partículas ferromagnéticas, viabiliza o uso de técnicas de inspeção magnética para realização de inspeção de danos ou detecção de defeitos em peças ou estruturas à base de polímeros ou de compósitos de matriz polimérica.

REIVINDICAÇÕES

1) "MATERIAL COM ADIÇÃO DE MARCADORES MAGNÉTICOS PARA AVALIAÇÃO NÃO-DESTRUTIVA DE INTEGRIDADE E SEU MÉTODO DE FABRICAÇÃO E APLICAÇÃO", caracterizado por se tratar de material

polimérico com adição de partículas magnéticas para permitir avaliação não-destrutiva de integridade, consistindo de material compósito de matriz polimérica, contendo partículas micrométricas ou nanométricas de ferritas (AFe_2O_4), sendo $\text{A} = \text{Sr}, \text{Ba}, \text{Mg}, \text{Ca}, \text{Zn}, \text{Mn}, \text{Ni}$ e Co , com propriedades ferrimagnéticas ou consistindo de material compósito de matriz polimérica, ligas metálicas à base dos elementos $\text{Fe}, \text{Ni}, \text{Co}, \text{Gd}, \text{Dy}$ e terras raras, contendo partículas ferromagnéticas, micrométricas ou nanométricas.

2) "MATERIAL COM ADIÇÃO DE MARCADORES MAGNÉTICOS PARA AVALIAÇÃO NÃO-DESTRUTIVA DE INTEGRIDADE", caracterizado, conforme

a reivindicação 1, pelo seu processo de avaliação não-destrutiva ser realizado quando uma região do mesmo é submetida a um campo magnético, gerado por um módulo magnetizador, com intensidade suficiente para promover a magnetização das partículas ferrimagnéticas ou ferromagnéticas, sendo que, entre os pólos do referido módulo magnetizador é posicionado um detector ou sensor de campo magnético, sendo este, preferencialmente, mas não necessariamente, um sensor de efeito Hall.

3) "MATERIAL COM ADIÇÃO DE MARCADORES MAGNÉTICOS PARA AVALIAÇÃO NÃO-DESTRUTIVA DE INTEGRIDADE", caracterizado, conforme

as reivindicações 1 e 2, por permitir que seja usado para detectar defeitos estruturais, tais como, mas não limitados a trincas, microtrincas, fissuras, bolhas, microbolhas, delaminação, desgaste e não conformidades de fabricação que gerem algum tipo de heterogeneidade estrutural ou morfológica devido ao efeito de "vazamento de fluxo magnético" a partir do qual é possível identificar o tipo de defeito, determinar seu tamanho e a sua localização, visto que, nas referidas

falhas ocorre uma variação na intensidade do campo magnético relativamente à região em seu entorno, o que é percebido por meio dos referidos sensores de campo magnético.

4) "MATERIAL COM ADIÇÃO DE MARCADORES MAGNÉTICOS PARA AVALIAÇÃO NÃO-DESTRUTIVA DE INTEGRIDADE", caracterizado, conforme as reivindicações 1, 2 e 3, por, preferencialmente, utilizar matrizes poliméricas tais como, mas não limitadas a: poliéster, poliuretanas, poliacetatos, epóxi, éster-vinílico, bismaleimidas, poliimidas, fenólicas, ureicas, melamínicas, polipropileno, polietileno, policarbonato, polimetacrilato de metila, poliestireno, poliamida, polietilenotereftalato, policloreto de vinila, baquelite, policloropreno, poli-isopreno, buna-S, buna-N, SBR, politetrafluoretileno, copolímero acrilonitrila butadieno estireno, polibutileno tereftalato, polifenileno de sulfito, polieterimida, polisulfona, polihidroxialcanoato, plásticos especiais e de engenharia, e blendas e combinações destes.

5) "MATERIAL COM ADIÇÃO DE MARCADORES MAGNÉTICOS PARA AVALIAÇÃO NÃO-DESTRUTIVA DE INTEGRIDADE", é caracterizado, conforme as reivindicações 1, 2, 3 e 4, por contemplar o uso de fibras longas ou curtas com o intuito de reforço mecânico do referido compósito com propriedades magnéticas, sendo que, preferencialmente, podem ser utilizadas fibras como, mais não limitados a, vidro, carbono, aramida, basalto, polietileno ou poli (p-fenileno benzo bisoxazol) admitindo-se a combinação entre as referidas fibras, sendo que, o referido compósito com propriedades magnéticas pode ser conjugado com fitas, lâminas ou tecidos a base das referidas fibras.

6) "MATERIAL COM ADIÇÃO DE MARCADORES MAGNÉTICOS PARA AVALIAÇÃO NÃO-DESTRUTIVA DE INTEGRIDADE", caracterizado, conforme as reivindicações 1, 2, 3, 4 e 5, por contemplar o uso de cargas, nas formas de partículas, fibras, fitas, lâminas, e plaquetas, tais como, mais não limitados a, talco, areia de quartzo, carbonatos, argilas, negro de fumo (carbon black), óxido de titânio, carbetto de silício, sílica nanométrica e hidróxido de alumínio.

7) "MATERIAL COM ADIÇÃO DE MARCADORES MAGNÉTICOS PARA AVALIAÇÃO NÃO-DESTRUTIVA DE INTEGRIDADE", caracterizado, conforme as reivindicações 1, 2, 3, 4, 5 e 6, por contemplar o uso de aditivos compatibilizadores de superfície, tais como, mais não limitados a silanos.

8) "MATERIAL COM ADIÇÃO DE MARCADORES MAGNÉTICOS PARA AVALIAÇÃO NÃO-DESTRUTIVA DE INTEGRIDADE", caracterizado, conforme as reivindicações 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7, por contemplar o uso de aditivos corantes ou pigmentantes para a matriz polimérica, podendo-se utilizar corantes orgânicos ou pigmentos inorgânicos.

ANEXOS

FIGURA 1

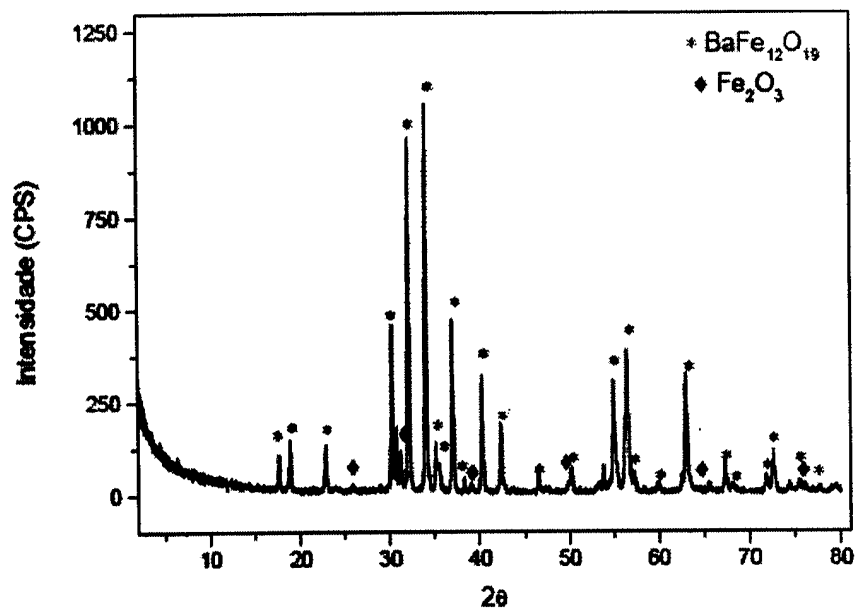
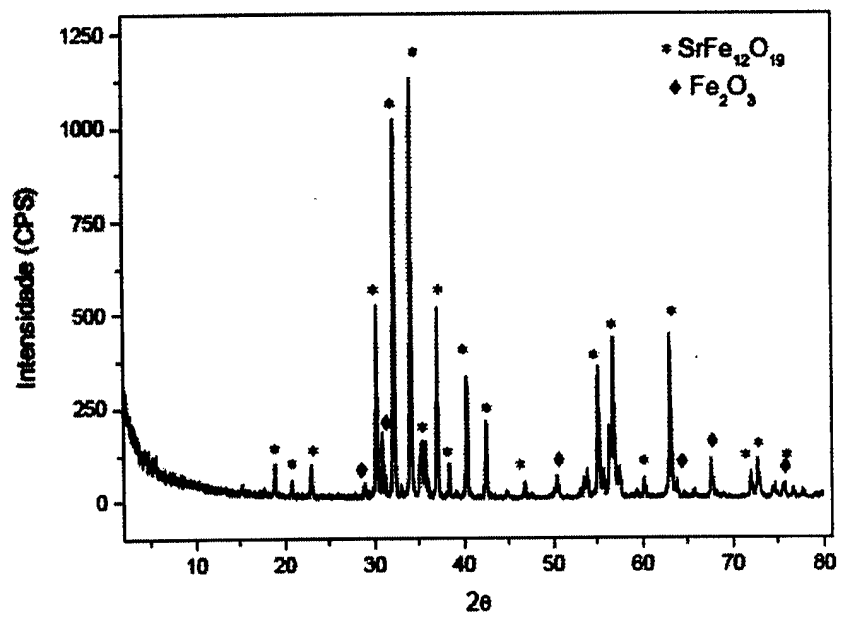


FIGURA 2



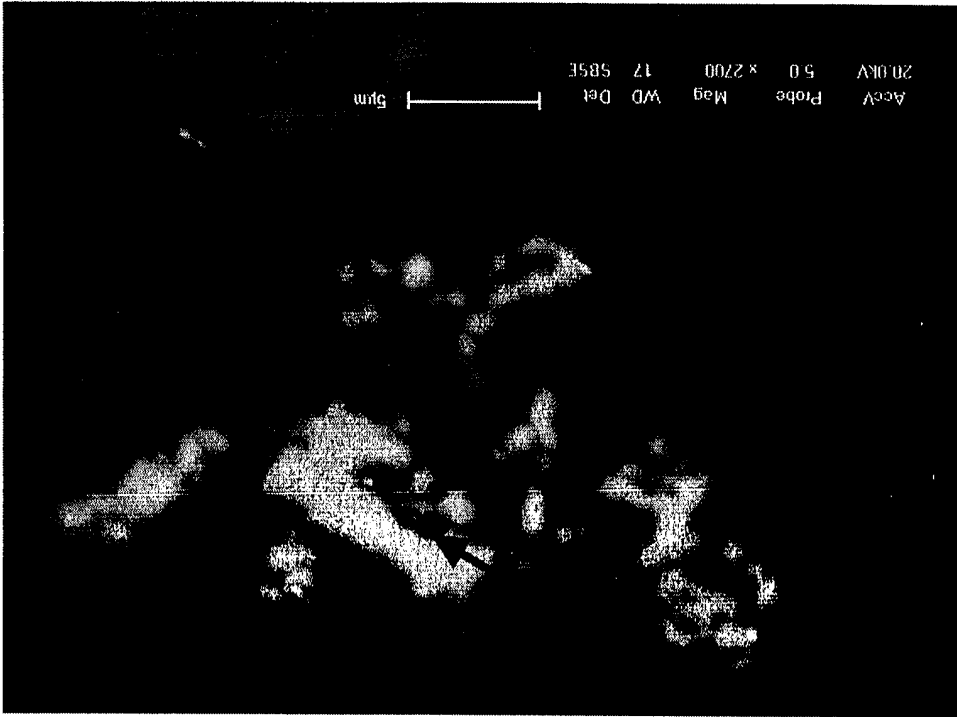


FIGURA 4

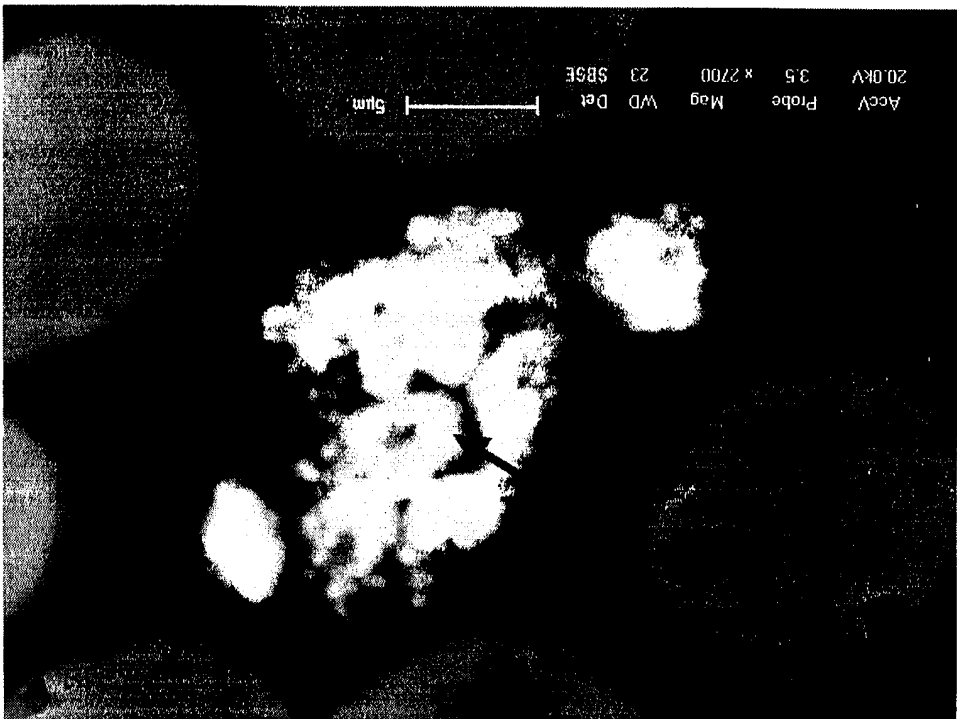


FIGURA 3

FIGURA 5

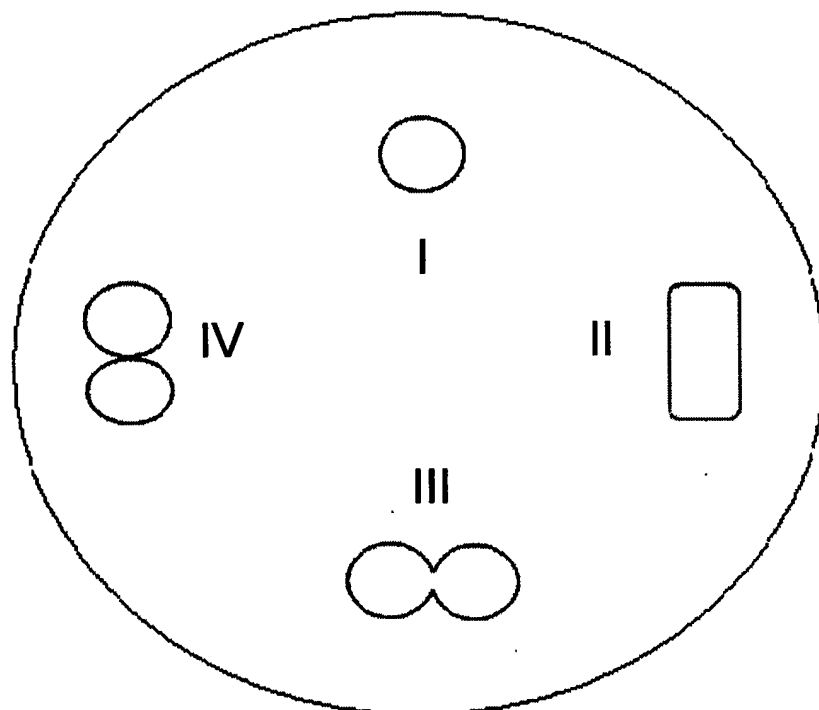


FIGURA 6

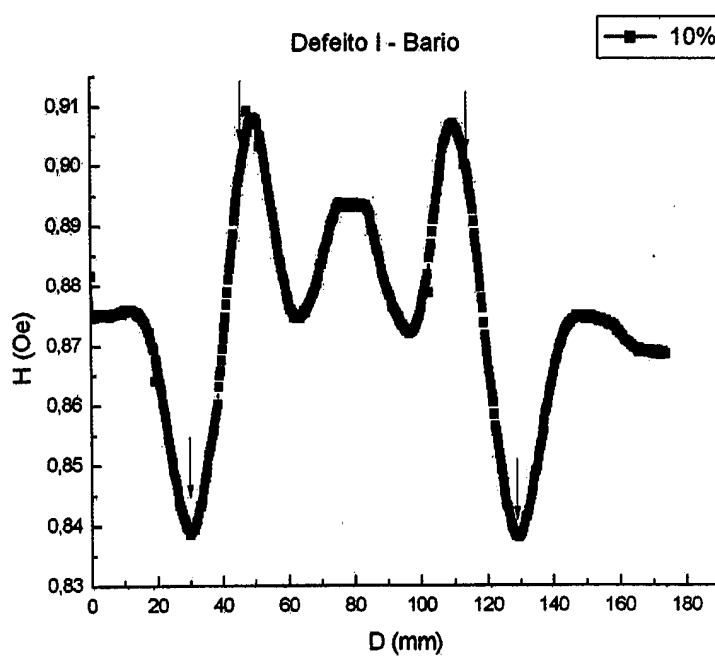


FIGURA 7

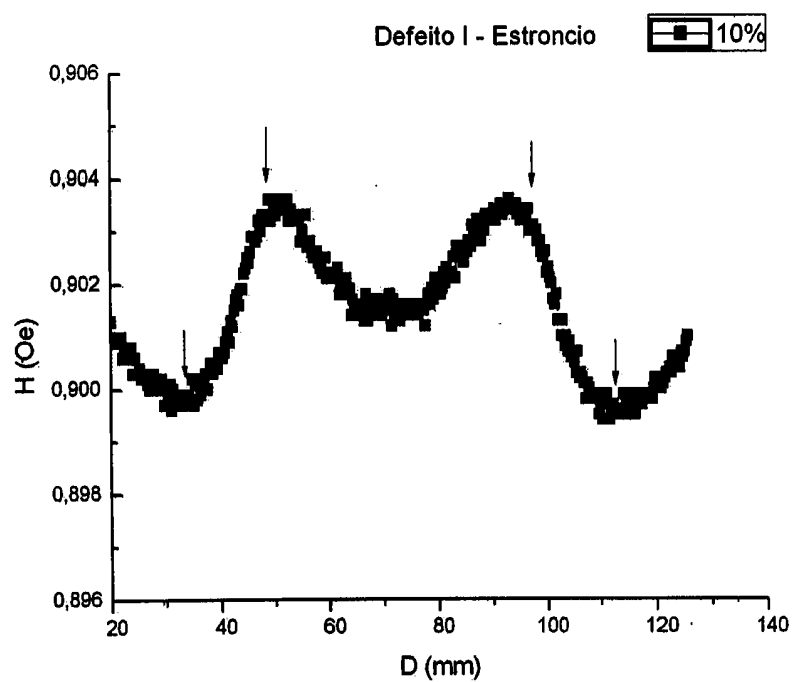


FIGURA 8

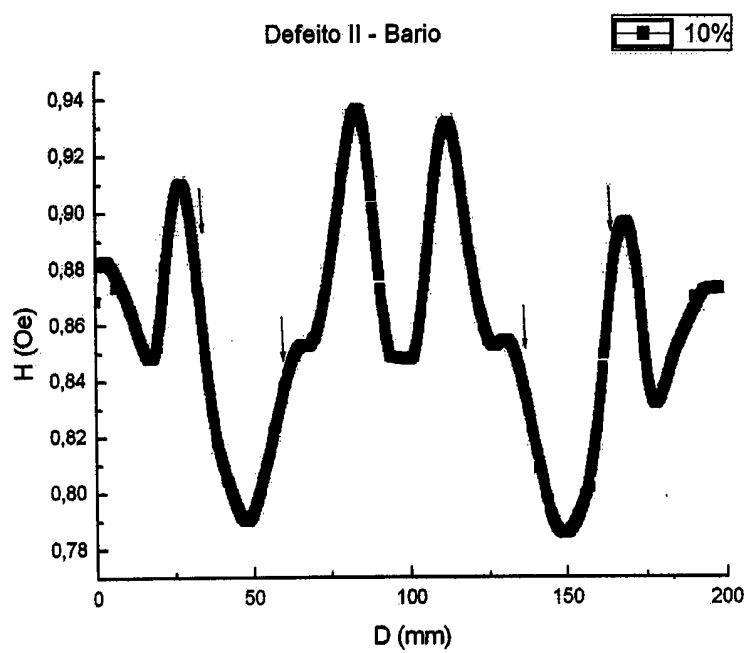
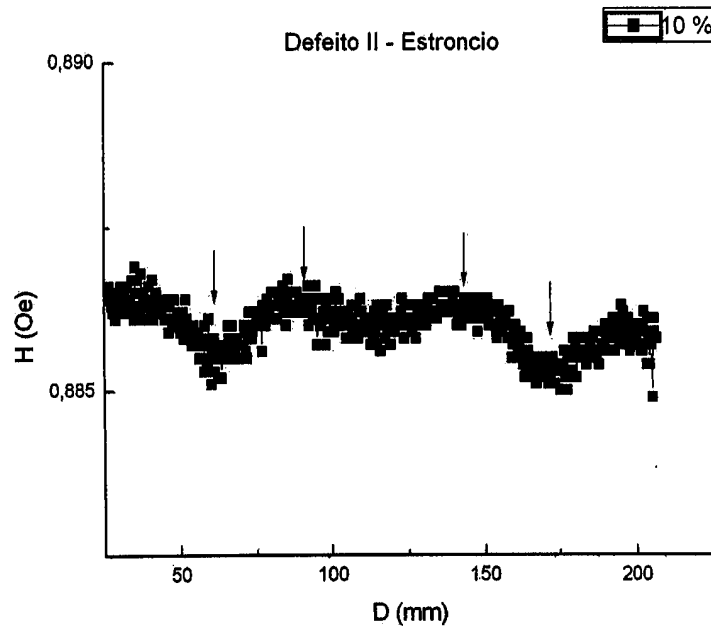


FIGURA 9



5

FIGURA 10

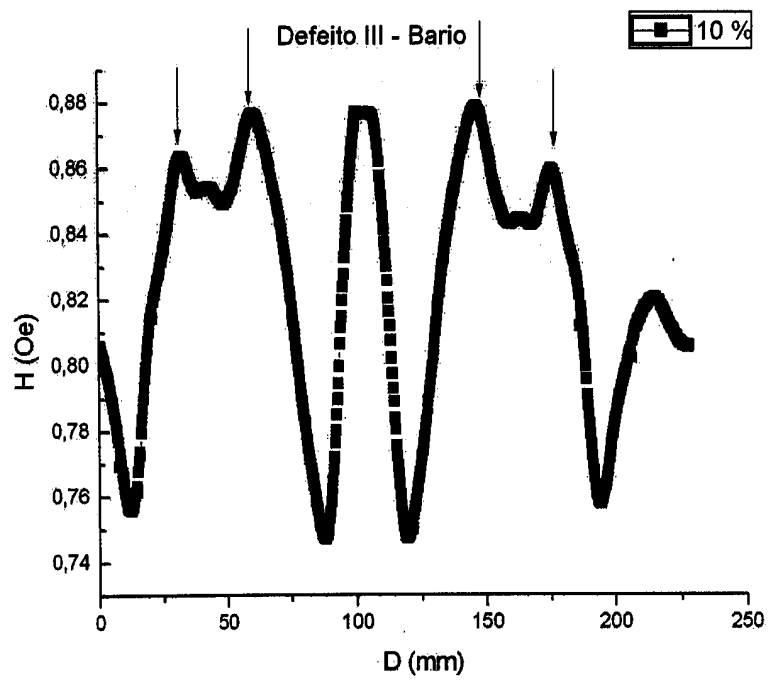


FIGURA 11

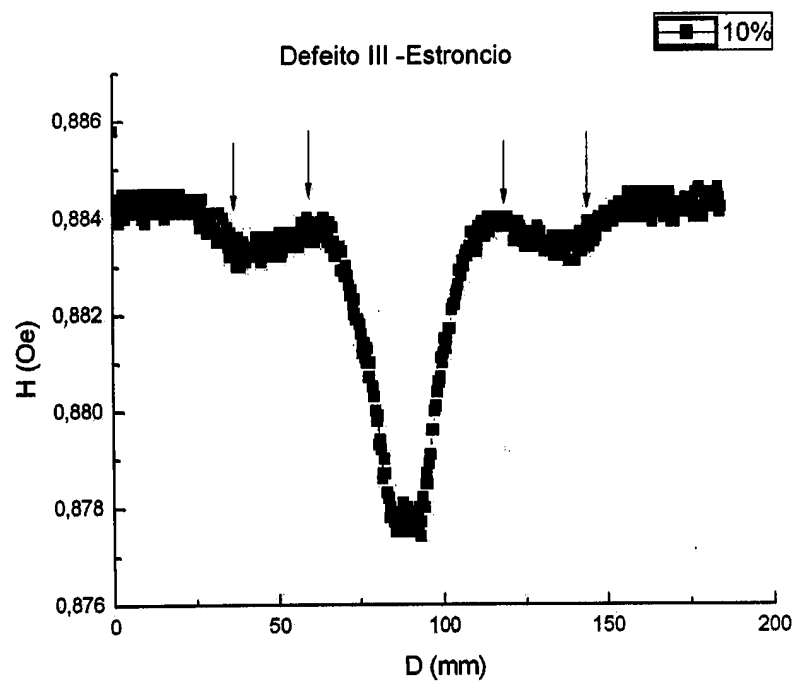


FIGURA 12

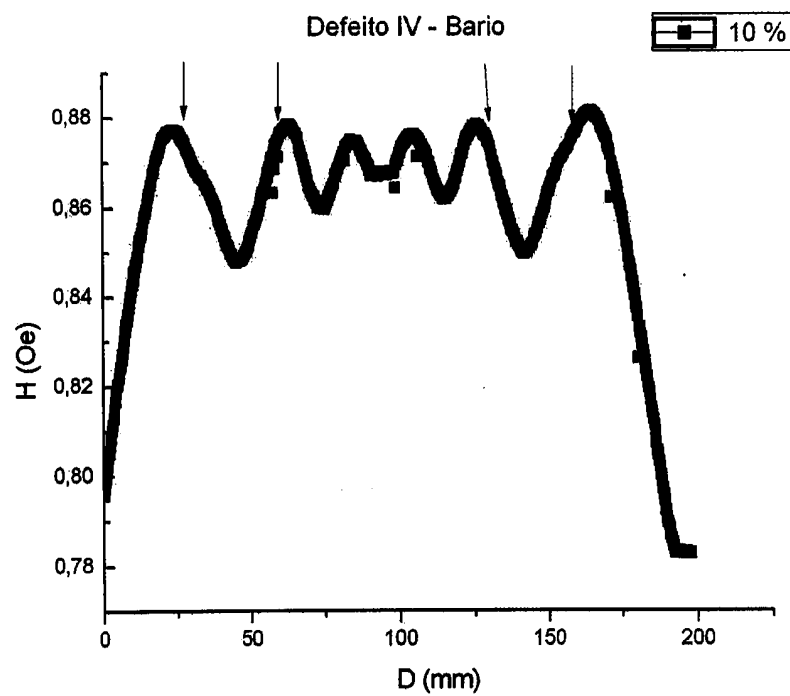


FIGURA 13

