



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

(11) PI 0908880-6 B1



(22) Data do Depósito: 25/02/2009

(45) Data de Concessão: 15/10/2019

(54) Título: MÉTODOS DE VARREDURA DE UM OBJETO E SISTEMA DE VARREDURA

(51) Int.Cl.: G01V 5/00.

(30) Prioridade Unionista: 28/02/2008 GB 0803641.0.

(73) Titular(es): RAPISCAN SYSTEMS, INC.

(72) Inventor(es): EDWARD JAMES MORTON.

(86) Pedido PCT: PCT GB2009000493 de 25/02/2009

(87) Publicação PCT: WO 2009/106801 de 03/09/2009

(85) Data do Início da Fase Nacional: 30/08/2010

(57) Resumo: SISTEMAS DE VARREDURA A invenção fornece um método e um sistema fazendo a varredura de um objeto que compreende fornecendo uma primeira região do detector que têm uma espessura pelo menos de 2 milímetros e uma segunda região do detector que tem uma espessura pelo menos de 5 milímetros onde a segunda região do detector é arranjada para receber a radiação que passou com a primeira região do detector. O método compreende a irradiação do objeto com a radiação que tem ter uma energia máxima pelo menos de 1MeV, e a detecção da primeira radiação do perfil depois que interagiu com ou passou através do objeto a fim fornecer a informação em relação ao objeto. Detectar a primeira radiação do perfil compreende a detecção da primeira radiação do perfil na primeira região do detector, recebendo a primeira radiação do perfil que passou com a primeira região do detector na segunda região do detector, e a detecção da primeira radiação do perfil na segunda região do detector. O método de varredura mais adicional compreende a irradiação do objeto com a radiação que tem um segundo perfil da energia, relativamente mais baixo do que o primeiro perfil da energia, e tendo uma energia máxima (...).

MÉTODOS DE VARREDURA DE UM OBJETO E SISTEMA DE VARREDURA

A presente invenção se refere a sistemas de varredura. Ela tem aplicação em particular em sistemas de varredura para carga, mas também pode ser usada em scanners para
5 outras aplicações, tais como em segurança e scanners médicos de alta energia.

Há uma exigência de triagem de carga para fins de identificação da presença de materiais ilícitos e objetos. Atualmente, essa triagem é freqüentemente realizada usando-
10 se scanners de raios X.

Os scanners de raios X para inspeção de carga tipicamente compreendem uma fonte de raios X de alta energia (usualmente com base em um acelerador linear de raios X) com uma qualidade de feixe de 4 MeV a 9 MeV. A
15 saída de raios X do acelerador linear de raios X então é colimada para um feixe de espalhamento estreito de radiação, o qual é cintilado através do item de carga sob inspeção. Um arranjo linear de elementos detectores de raios X então é posicionado oposto à fonte de raios X, de
20 modo que seja irradiada pelo feixe espalhado de radiação, após uma atenuação do feixe de raios X pelo objeto sob inspeção.

Um aspecto da invenção compreende um método de varredura para varredura de um objeto, que compreende: a
25 provisão de uma primeira região de detector e de uma segunda região de detector, onde a segunda região de detector é disposta para receber uma radiação que foi passada através da primeira região de detector; a irradiação do objeto com uma radiação que tem um primeiro
30 perfil de energia; a detecção da primeira radiação de

perfil após ter interagido com ou passado através do objeto, de modo a se prover uma informação relativa ao objeto, onde a detecção da primeira radiação de perfil compreende: a detecção da primeira radiação de perfil na primeira região de detector; o recebimento da primeira radiação de perfil que passou através da primeira região de detector na segunda região de detector; a detecção da primeira radiação de perfil na segunda região de detector; o método de varredura ainda compreendendo: a irradiação do objeto com uma radiação que tem um segundo perfil de energia, diferente do primeiro perfil de energia; a detecção da segunda radiação de perfil após ter interagido com ou passado através do objeto, de modo a se prover uma informação relativa ao objeto, onde a detecção da segunda radiação de perfil compreende: a detecção da segunda radiação de perfil na primeira região de detector; o recebimento da segunda radiação de perfil que passou através da primeira região de detector na segunda região de detector; a detecção da segunda radiação de perfil na segunda região de detector.

As reivindicações independentes definem aspectos da invenção para os quais uma proteção é buscada. As reivindicações dependentes definem características inventivas preferíveis. Qualquer uma das características das reivindicações dependentes pode ser usada em combinação com as características das outras reivindicações ou outros aspectos da invenção, mesmo se elas não forem explicitamente dependentes delas - isto será claro para uma pessoa versada neste campo.

Quando uma característica é reivindicada em uma

categoria (por exemplo, método, sistema, arranjo de detector, etc.), uma proteção é buscada para aquela característica em outras categorias, mesmo se não reivindicado explicitamente.

5 As modalidades da invenção serão descritas, agora, a título de exemplo apenas, com referência aos desenhos associados, nos quais:

a Figura 1 é um fluxograma que esboça um método de acordo com uma modalidade da invenção;

10 a Figura 2 mostra esquematicamente um sistema de varredura de acordo com uma modalidade da invenção;

a Figura 3 ilustra graficamente um perfil de radiação de saída a partir de uma fonte de radiação usada em uma modalidade da presente invenção;

15 a Figura 4 ilustra esquematicamente um arranjo de detector de acordo com uma modalidade da invenção;

a Figura 5 é um gráfico que ilustra diferentes características de objetos de massa atômica alta e baixa, conforme visto pelo sistema de varredura de uma modalidade
20 desta invenção;

a Figura 6 é um gráfico que ilustra características diferentes de objetos de massa atômica alta e baixa, conforme visto pelo sistema de varredura de uma modalidade desta invenção;

25 a Figura 7 é um gráfico que ilustra a mudança de resposta em relação à energia da radiação recebida;

a Figura 8 é um gráfico que ilustra a mudança de resposta em relação à intensidade da radiação recebida para objetos de massa atômica alta e baixa;

30 a Figura 9 mostra esquematicamente um sistema de

aquisição de dados para uso com esta invenção;

a Figura 10 ilustra um padrão de sincronismo para o sistema de aquisição de dados da Figura 9 em uma modalidade; e

5 a Figura 11 é uma representação de objetos sobrepostos, os quais podem ser distinguidos usando-se esta invenção.

Com referência às figuras 1 e 2, um método da invenção provê um método 10 e um sistema 30 para varredura de um
10 objeto 32. O sistema 30 compreende uma fonte de radiação 36 disposta para irradiar o objeto 32 com uma radiação. Nesta modalidade, a fonte 36 é uma fonte de acelerador linear de energia comutável. Outras fontes adequadas serão evidentes para a pessoa versada na técnica. Nesta modalidade, o
15 objeto 32 se move na direção da seta 34 através de uma zona de varredura. O objeto 32 poderia ser um guindaste transportando uma carga, por exemplo, dirigindo através de uma zona de característica, a qual a fonte 36 é disposta para irradiar. Em outras modalidades, o objeto 32 poderia
20 ser estacionário. A fonte 36 é disposta para operar em pelo menos dois níveis diferentes. Neste exemplo, a fonte 36 é capaz de operar em um nível alto para a provisão de uma radiação que tem uma energia de pico de pelo menos 1 MeV e em um nível baixo para a provisão de uma radiação que tem
25 uma energia de pico de pelo menos 0,5 MeV. Neste exemplo em particular, a radiação de nível alto tem um valor de pico de 6 MeV, e a radiação de nível baixo tem um valor de pico de 3 MeV. Neste contexto, um valor de pico é o valor de energia no qual a intensidade mais alta de radiação é
30 emitida pela fonte 36.

O sistema de varredura 30 também compreende um arranjo de detector 38. O arranjo de detector é disposto para detectar uma radiação após ter interagido com ou passado através do objeto 32, de modo a se prover uma informação para varredura do objeto. O arranjo de detector 38 compreende um primeiro detector 40 e um segundo detector 42. O primeiro detector 40 tem uma espessura de pelo menos 2 mm. Nesta modalidade, a espessura do primeiro detector é de em torno de 15 mm. Em outras modalidades, a espessura pode ser maior ou menor, e pode ser sintonizada conforme requerido por uma pessoa versada. O segundo detector 42 tem uma espessura de pelo menos 5 mm. Nesta modalidade, a espessura do segundo detector 42 é de em torno de 30 mm. Mais uma vez, será claro para a pessoa versada que esta espessura de detector pode ser variada por experimentação, de modo a se sintonizar o arranjo de detector 38 conforme requerido. Por exemplo, em algumas modalidades, os detectores podem ser sintonizados para a detecção da mesma quantidade de radiação que cada outro, para a provisão de um processamento de sinal mais eficiente. Nesta modalidade, com referência à figura 3, o primeiro detector 40 é posicionado entre o objeto 32 e o segundo detector 42. Em outras modalidades, a pessoa versada pode divisar um arranjo diferente. Nesta modalidade em particular, este arranjo provê uma geometria simples, de modo a se obter a configuração de detector desejada, de modo que uma radiação passando através do primeiro detector 40 atinja o segundo perfil de energia, após ter interagido com o objeto 32. Nesta modalidade, o arranjo de detector 38 é um arranjo de detector linear com detectores dianteiro 40, A e traseiro

42, B.

O sistema 30 em sua modalidade mais ampla não inclui um sensor de movimento. Em algumas modalidades, o sistema 30 inclui um sensor de movimento (não mostrado). O sensor de movimento 44 é disposto para medir qualquer uma ou mais 5 dentre a posição, a velocidade ou a aceleração do objeto 32, e os dados acumulados usando-se o sensor de movimento podem ser usados para a coordenação do sincronismo de captura de dados conforme o objeto for varrido.

10 Com referência à figura 1, o método de varredura 10 compreende a etapa de provisão 12 de uma primeira região de detector tendo uma espessura de pelo menos 2 mm e uma segunda região de detector tendo uma espessura de pelo menos 5 mm. O método 10 também compreende as etapas de 15 irradiação 14 de um objeto a ser varrido com uma radiação que tem um valor de energia de pico de 1 MeV ou mais, a detecção 16 da radiação na primeira região de detector 40 e, então, a detecção 18 da radiação na segunda região de detector 42 (a segunda região de detector é disposta para 20 receber uma radiação que passou através da primeira região de detector). O método 10 compreende a detecção da radiação após ela ter interagido com ou passado através do objeto, de modo a se prover uma informação relativa ao objeto.

O método 10 ainda compreende a irradiação 20 do objeto 25 com uma radiação que tem um valor de energia de pico de 0,5 MeV ou mais (mas menos do que o valor de energia de pico da energia irradiada na etapa 14) e, de novo, a detecção 22 da radiação na primeira região de detector 40, e, então, a detecção 24 da radiação da segunda região de detector 42.

30 Neste exemplo, o objeto é varrido com uma radiação de

perfil de energia mais alta antes da varredura com uma radiação de perfil de energia mais baixa. Em outras modalidades, o objeto pode ser varrido com uma radiação de perfil de energia mais baixa, antes da varredura com uma radiação de perfil de energia mais alta. Em ainda outras modalidades, pode haver uma varredura em mais de dois níveis diferentes (cada nível provendo radiação tendo um perfil de energia diferente).

Nesta modalidade, o objeto é irradiado em rajadas discretas - em outras modalidades, a pessoa versada na técnica perceberá que os níveis de radiação podem ser variados gradualmente, ou em uma combinação de rajadas e variação gradual, e o processamento de sinal de coleta de dados deve ser corrigido de modo conforme (isto é discutido em maiores detalhes abaixo).

Em algumas modalidades, o método 10 compreende o envio de uma informação detectada recebida em resposta a uma rajada a partir das regiões de detector antes de a próxima rajada ocorrer. Isto ajuda a simplificar o processamento de sinal.

A equação primária que governa a atenuação de raio X em questão é:

$$I(E) = I_0(E) \exp\left(-\int_l \mu(E) dl\right) \quad (1)$$

onde $I(E)$ = intensidade de radiação transmitida através do objeto na energia E , $I_0(E)$ = intensidade de radiação emitida pela fonte na energia E , $\mu(E)$ = coeficiente de atenuação linear de um objeto na energia E , e l = linha tomada pelo feixe em lápis de radiação através do objeto.

A saída de raios X do acelerador linear de raios X é policromática tendo uma distribuição de energia substancialmente conforme mostrado na figura 3. A energia de raio X máxima (E_p) resulta daquelas interações de elétrons no alvo do acelerador linear, onde toda a energia de elétron é transferida para um único fóton de raio X. Tipicamente, menos do que a energia plena de elétron é transferido para um fóton, resultando na faixa ampla de energias de raio X no feixe de raios X. Em uma energia baixa, os picos mostrados na figura 3 são devido a interações de fluorescência entre os elétrons e os átomos alvos assim resultando em raios X os quais são característicos do material alvo.

É costumeiro usar um detector de integração para a medição do sinal de raio X que é descrito na equação 1. Neste caso, o sinal detectado pode ser escrito como:

$$I_d = \int_0^{E_p} I(E) \left[1 - \exp\left(-\int_s \mu_d(E) ds\right) \right] \quad (2)$$

onde I_d = sinal detectado, $\mu_d(E)$ = coeficiente de atenuação linear do material de detector na energia E, e s = comprimento de percurso do feixe de raios X através do detector.

Portanto, é claro que I_d não retém um conhecimento da distribuição de energia do feixe de raios X entrando, apenas do efeito cumulativo de todas as energias de raios X.

Contudo, também pode ser visto que, a menos que o percurso através do material detector, s , seja muito grande de fato, alguma energia será transmitida através do

detector (isto é, ele não terá uma eficiência de detecção de 100%). Com referência à figura 4, se um segundo detector, B, for colocado na saída do primeiro detector, A, então, a energia transmitida através do primeiro detector
5 terá uma chance de ser absorvida no segundo detector. Neste caso, nós podemos escrever:

$$I_{dB} = \int_0^{E_p} I(E) \exp\left(-\int_s \mu_{dA}(E) ds\right) \left[1 - \exp\left(-\int_t \mu_{dB}(E) dt\right)\right] \quad (3)$$

onde I_{dB} = intensidade registrada no detector B, $\mu_{dA}(E)$
10 = coeficiente de atenuação linear de material de detector A na energia E, $\mu_{dB}(E)$ = coeficiente de atenuação linear de material de detector B na energia E, e t = percurso tomado pelo feixe de raios X através do detector B.

uma inspeção da equação (3) mostra que o espectro de
15 energia que é incidente sobre o detector B não é o mesmo que o espectro de energia que é incidente sobre o detector A. Portanto, o detector A pode ser pensado como tendo retido alguma informação de energia, embora a saída integrada apenas não seja suficiente para se dizer o que
20 esta informação de energia é. O mesmo é verdadeiro para o detector B.

Nesta invenção, é reconhecido que as medições que são produzidas pelo detector A e pelo detector B são espacial e temporalmente correlacionadas, e que a relação da
25 intensidade registrada no detector A para aquela registrada no detector B necessariamente proverá alguma informação sobre a distribuição de energia do feixe de raios X incidente, isto é,

$$\frac{I_{dA}}{I_{dB}} = f\{I(E)\} \quad (4)$$

30

onde $f\{\}$ = operador de função.

Pode ser visto através de uma inspeção da equação (1) que a relação das medições detector também inclui um fator que é devido a uma atenuação no objeto.

5 Três parâmetros de objeto afetarão a relação de detectores (equação 4) e estes são o coeficiente de atenuação linear do objeto, $\mu(E)$, o percurso l tomado pelo feixe de raios X através do objeto e a distribuição de energia do feixe primário, $I_0(E)$. Nesta situação, há três
10 incógnitas e duas medidas e, portanto, é impossível determinar de forma única um valor para as três incógnitas de objeto.

Em um outro aspecto desta invenção, é reconhecido que se o acelerador linear de raios X puder ser sintonizado
15 para produzir mais de uma distribuição de feixe primário, então, dois pares de resultados de detector poderão ser coletados, um com uma distribuição de feixe primário de energia mais baixa, $I_{dA}(lo)$ e $I_{dB}(lo)$, e um com uma distribuição de energia de feixe primário mais alta,
20 $I_{dA}(hi)$ e $I_{dB}(hi)$. Agora, há quatro medições com as mesmas três incógnitas e, portanto, é possível determinar uma solução matematicamente única. Esta solução pode ser determinada usando-se uma técnica numérica apropriada, tal como uma minimização de mínimos quadrados. Em outras
25 modalidades, qualquer outra técnica numérica similar ou adequada pode ser usada como uma alternativa ou em combinação.

A presente invenção concerne a uma varredura de energia alta. Em energias baixas (por exemplo, para a
30 maioria dos scanners médicos), o efeito fotoelétrico é um

mecanismo pelo qual os raios X interagem com a matéria nos objetos sendo varridos. Em contraste, a presente invenção concerne a energias de fonte de raio X muito maiores - especificamente, uma distribuição de feixe primário de energia mais baixa mencionada acima tem um valor de pico de 500 keV ou acima (e o feixe de energia mais alto tem um valor mais alto do que isto). O mecanismo predominante governando as interações de radiação na matéria nestas energias é uma dispersão de Compton.

10 A atenuação na matéria de raios X afetados pelo efeito fotoelétrico mostra uma dependência proporcional a Z^4 (onde Z = número atômico). Em contraste, a dispersão de Compton produz uma dependência Z^1 . Alguma dispersão de Compton também está presente em energias baixas.

15 As regiões de detector da presente invenção são configuradas de modo que no detector dianteiro haja uma dependência Z^4 aproximadamente surgindo de uma combinação dos efeitos fotoelétrico e de dispersão de Compton. O segundo detector traseiro tem uma dependência Z^1 . Como resultado, há considerações significativamente diferentes, se comparada com uma varredura de raios X de energia baixa, devido a diferentes leis físicas governando a interação de matéria. O inventor percebeu que para aplicações de varredura de raios X de energia alta, os detectores dianteiro e traseiro no arranjo reivindicado são governados por leis físicas diferentes com respeito a sua interação com uma radiação de energia alta. Como resultado das relações físicas diferentes, arranjos de detector diferentes são requeridos, em relação a scanners de raios X de energia baixa. Assim sendo, um primeiro detector é

20

25

30

especificado como sendo de pelo menos 2 mm de espessura, enquanto o segundo detector é especificado como sendo de pelo menos 5 mm de espessura. Também, um processamento de sinal diferente é requerido para se considerar a combinação do efeito fotoelétrico e da dispersão de Compton ocorrendo no primeiro detector e o efeito de dispersão de Compton predominantemente no segundo detector. Como resultado, os scanners de carga convencionais não têm um arranjo de região de detector dupla como especificado nesta invenção.

10 O arranjo de detector para uso em um sistema de varredura deste tipo (isto é, o sistema compreende uma fonte de radiação disposta para irradiar um objeto a ser varrido, onde o arranjo de detector é disposto para detectar uma radiação após ela ter interagido com ou
15 passado através do objeto, de modo a se varrer o objeto) pode ser um detector empilhado, onde o arranjo de detector compreende uma primeira região de detector disposta para detectar uma radiação e uma segunda região de detector disposta para detectar uma radiação, onde a segunda região
20 de detector é disposta para receber uma radiação que passou através da primeira região de detector. Neste exemplo, a primeira região de detector é posicionada entre o objeto a ser varrido e a segunda região de detector. A primeira região de detector e a segunda região de detector são
25 configuradas para detectarem uma quantidade predeterminada de radiação em relação a cada outra - neste exemplo, a primeira região de detector e a segunda região de detector são configuradas para detectarem substancialmente a mesma quantidade de radiação que cada outra - neste exemplo, isto
30 é obtido pela configuração dos comprimentos s , t dos

detectores A, B.

O ou cada um dentre o primeiro detector e o segundo detector pode compreender um arranjo de detector linear.

Um exemplo dos dados que podem ser gravados usando-se um sistema com detectores empilhados conforme exemplificado nesta invenção (e conforme mostrado na figura 4) é dado nas figuras 5 a 8. Nestas figuras, I é a intensidade integrada total de radiação detectada, isto é, a soma da intensidade no primeiro detector, A, e no segundo detector, B. F/R é uma medida da relação de intensidade de radiação detectada nos detectores dianteiro e traseiro. L/H é uma medida da relação de intensidade de radiação detectada em um perfil de energia de fonte baixo e alto.

Em energias mais baixas, o detector dianteiro absorve a maior parte da radiação a qual o atingiu. Como resultado, há uma boa distinção relativa à absorção no detector traseiro entre objetos de Z alta e Z baixa, onde Z = massa atômica. Portanto, a relação F/R provê uma informação particularmente útil em energias baixas.

Em energias mais altas, a relação L/H provê uma boa distinção entre objetos de Z alto e Z baixo. Portanto, a relação L/H provê uma informação particularmente útil em energias altas.

Em combinação, estas duas relações ajudam a prover uma informação compreensiva através do espectro de energia.

A figura 8 mostra a diferença percentual entre as duas curvas nas figuras 5 e 6. Como um guia, a diferença entre as relações de intensidade em energias baixas e altas pode ser tão grande quanto 10 por cento. Dado que o patamar de ruído em um sistema de detecção de boa qualidade deve ser

da ordem de 10 partes por milhão, uma mudança de vários pontos percentuais na relação de intensidade é muito mensurável.

Em uma modalidade, um sistema de aquisição de dados adequado 90 para uso com o sistema de varredura é mostrado na figura 9. Aqui, um acelerador de raio X pulsado 92 tem duas entradas, gatilho e energia. Os raios X a partir do acelerador 92 passam através do objeto sob inspeção e interceptam os arranjos de sensor 94 que têm elementos de sensor dianteiro e traseiro. O sinal analógico é integrado e convertido em uma forma digital antes da transmissão para um conjunto de placas de concentrador 96, as quais formam pacotes de Ethernet que contêm os dados de sensor digitalizados. Estes pacotes de Ethernet são passados a partir de cada placa de concentrador de volta através de um comutador de Ethernet 98 para um computador de controle 100, onde eles são formatados em linhas em uma imagem, as quais então são exibidas em um monitor que pode ser lido por seres humanos 102. Cada linha na imagem corresponde a um valor de pulso de acelerador de dados de sensor. Obviamente, outras arquiteturas de sistema de aquisição de dados são bastante viáveis e serão evidentes para a pessoa versada, e a figura 9 é apresentada como um exemplo de boa prática no projeto de aquisição de dados.

A figura 10 apresenta um exemplo de um diagrama de sincronismo para aquisição de dados de raio X de "quad-energy" (1,055 exajoules). Uma comutação de gatilho de pulso de gatilho do nível de energia da fonte de radiação entre seus níveis alto e baixo. Os eventos de detecção são integrados em cada detector coordenados no tempo com os

estados de energia alta e baixa, e uma leitura de cada detector ocorre antes do próximo evento de integração.

Em algumas modalidades, é vantajoso usar um detector de linha alternado deslocado para melhoria da velocidade de varredura, para aumento da eficiência de detecção e para
5 melhoria da correlação espacial melhorada entre as medições de raio X de energia alta e baixa. Isto pode ser feito para a obtenção de taxas de amostra de Nyquist, por exemplo.

Em algumas modalidades, pode ser vantajoso utilizar
10 seqüências de pulso não periódicas de radiação a partir da fonte, de modo a se ajudar na redução de taxas de dose e para prover uma performance de penetração de objeto superior.

Em um aspecto adicional desta invenção, é observado
15 que a análise provida nas equações 1 a 4 acima se refere a um objeto homogêneo único. Em um objeto geral, freqüentemente há múltiplos objetos os quais se sobrepõem na imagem. Um exemplo de superposição de objetos é mostrado na figura 11. Aqui, um primeiro objeto 110 é parcialmente
20 sobreposto por um segundo objeto 112. Em cada caso, o formato de superposição dos objetos é visível para o olho humano, mesmo na região de superposição 114. Nesta invenção, é reivindicado que métodos de processamento de imagem automatizados podem ser usados para a segmentação da
25 imagem de raio X de "quad-energy" (1,055 exajoules) projetada para resolução das características de materiais da região à esquerda do primeiro objeto 110 e da região à direita do segundo objeto 112. Esta informação sobre os objetos 110 e 112 então pode ser usada para a análise da
30 área de superposição 114. Conhecendo a qualidade do feixe,

a espessura e o coeficiente de atenuação do primeiro objeto 110 e a espessura e o coeficiente de atenuação do segundo objeto 112, é possível calcular a intensidade esperada que deve ser detectada na região de superposição, usando-se a equação a seguir:

$$I(E) = I_0(E) \exp \left(- \left\{ \int_0^{t_1} \mu_1(E) dl + \int_0^{t_2} \mu_2(E) dl \right\} \right) \quad (5)$$

onde t_1 = espessura do primeiro objeto 110, $\mu_1(E)$ = coeficiente de atenuação do primeiro objeto 110 na energia E, t_2 = espessura do segundo objeto 120, $\mu_2(E)$ = coeficiente de atenuação do segundo objeto 120 na energia E. Note que os valores detectados, $I_{dA}(lo)$, $I_{dB}(lo)$, $I_{dA}(hi)$ e $I_{dB}(hi)$ então são determinados através das equações 3 e

4. Os valores medidos então podem ser comparados com os valores calculados associados para se garantir que nada mais esteja presente na região de superposição 114.

É notado que as técnicas discutidas aqui podem ser extrapoladas para situações muito mais complexas. Por exemplo, uma fonte de raio X poderia ser desenvolvida para operar em mais de duas energias de feixe e mais de duas camadas de detector poderiam ser montadas para se proporcionar uma amostragem ainda mais fina da distribuição de energia dos sinais de raio X transmitidos. Os métodos de análise de dados são os mesmos, mas há medições adicionais do mesmo número de incógnitas e, portanto, a princípio, possível gerar uma solução mais bem determinada.

Em uma modalidade alternativa, camadas de filtro de metal poderiam ser interpostas entre os elementos de detector de modo a se conformar adicionalmente o espectro de raio X. Este método não é recomendado, uma vez que

nenhum sinal é gravado a partir da camada de filtro de metal e o resultado líquido é uma imagem de dose mais alta do que quando um detector ativo é usado como um filtro para a finalidade equivalente.

5 Várias modificações podem ser feitas nesta invenção, sem que se desvie de seu escopo (conforme definido pelas reivindicações). Os raios X de energia alta e baixa podem ser enviados em uma ordem diferente, por exemplo, energia baixa, então, energia alta.

10 Relações diferentes podem ser calculadas com os quatro elementos de informação. A relação descrita no exemplo acima $(A/B)_{lo}/(A/B)_{hi}$ é particularmente útil, uma vez que retira a necessidade de calibração dos detectores. Outras

relações únicas as quais podem ser usadas são A_{hi}/A_{lo} ,
15 A_{hi}/B_{lo} , A_{lo}/B_{hi} , A_{hi}/B_{hi} , A_{lo}/B_{lo} . Estas são relações únicas - B_{hi}/A_{lo} pode ser usada, mas não oferece nenhuma vantagem em relação a A_{lo}/B_{hi} , uma vez que é meramente o inverso - de modo similar a outros exemplos de relação.

Em algumas modalidades, mais de duas regiões de
20 detector podem ser providas e mais de dois níveis de energia de radiação podem ser usados para a irradiação do objeto. Por exemplo, ao invés de dois, três ou quatro ou cinco ou seis ou qualquer outro número de níveis de energia pode ser usado.

25 Exatamente o mesmo princípio de arranjo de detector pode ser usado com outras sondas de formação de imagem, incluindo nêutrons térmicos e nêutrons rápidos, os quais podem prover um benefício de diagrama adicional.

Será claro para a pessoa versada na ótica que
30 diferentes valores de pico para o perfil de energia mais

baixo e/ou para o perfil de energia mais alto podem ser usados nos limites especificados pelas reivindicações. Por exemplo, o valor de energia de pico de perfil mais baixo pode ser de 4 MeV, e o valor de energia de pico de perfil
5 mais alto pode ser de 7 ou 8 MeV.

REIVINDICAÇÕES

1. Método de varredura para varredura de um objeto **caracterizado** pelo fato de compreender:

a provisão de uma primeira região de detector tendo
5 uma espessura de pelo menos 2 mm e uma segunda região de detector tendo uma espessura de pelo menos 5 mm, onde a segunda região de detector é disposta para receber uma radiação que passou através da primeira região de detector,
a irradiação do objeto com radiação tendo um primeiro
10 perfil de energia e tendo uma energia de pico de pelo menos 1 MeV,

a detecção da primeira radiação de perfil, após ter interagido com ou passado através do objeto, de modo a se prover uma informação relativa ao objeto, em que a detecção
15 da primeira radiação de perfil compreende:

a detecção da primeira radiação de perfil na primeira região de detector,

o recebimento da primeira radiação de perfil que passou através da primeira região de detector na segunda
20 região de detector,

a detecção da primeira radiação de perfil na segunda região de detector,

o método de varredura ainda compreendendo:

a irradiação do objeto com uma radiação que tem um
25 segundo perfil de energia, relativamente mais baixo do que o primeiro perfil de energia, e tendo uma energia de pico de pelo menos 0,5 MeV,

a detecção da segunda radiação de perfil após ter interagido com ou passado através do objeto, de modo a se
30 prover uma informação relativa ao objeto, em que a detecção

da segunda radiação de perfil compreende:

a detecção da segunda radiação de perfil na primeira região de detector,

o recebimento da segunda radiação de perfil que
5 passou através da primeira região de detector na segunda região de detector,

a detecção da segunda radiação de perfil na segunda região de detector;

o método de varredura compreendendo ainda:

10 a determinação de uma informação relativa ao objeto com base na informação a partir das primeira e segunda regiões de detector com relação às primeira e segunda radiações de perfil de energia; e

o cálculo da relação $(A/B)_1/(A/B)_2$, de modo a se
15 determinar uma informação relativa ao objeto com base na relação calculada, em que A é indicativo da quantidade de radiação detectada na primeira região de detector, B é indicativo da quantidade de radiação detectada na segunda região de detector, $(A/B)_1$ é a relação da primeira radiação
20 de perfil detectada na primeira região de detector em relação à primeira radiação de perfil detectada na segunda região de detector, e $(A/B)_2$ é a relação da segunda radiação de perfil detectada na primeira região de detector em relação à segunda radiação de perfil detectada na
25 segunda região de detector.

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de compreender o posicionamento da primeira região de detector entre o objeto e a segunda região de detector.

30 3. Método, de acordo com a reivindicação 1 ou 2,

caracterizado pelo fato de compreender a determinação de uma informação pela introdução da informação a partir das primeira e segunda regiões de detector com relação às primeira e segunda radiações de perfil de energia em uma
5 técnica de minimização de mínimos quadrados para a obtenção de uma informação relativa ao objeto.

4. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, **caracterizado** pelo fato de compreender a irradiação e a detecção da primeira radiação
10 de perfil antes da segunda radiação de perfil, ou vice-versa.

5. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, **caracterizado** pelo fato de a irradiação do objeto compreender a irradiação do objeto em
15 rajadas discretas.

6. Método, de acordo com a reivindicação 5, **caracterizado** pelo fato de compreender o envio da informação detectada recebida em resposta a uma rajada a
20 partir das regiões de detector antes da próxima rajada ocorrer.

7. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, **caracterizado** pelo fato de que a radiação de perfil de energia baixa compreender uma
25 radiação de raio X de 3 MeV e a radiação de perfil de energia alta compreender uma radiação de raio X de 6 MeV.

8. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 7, **caracterizado** pelo fato de compreender a configuração da primeira região de detector e
da segunda região de detector para a detecção de uma
30 quantidade predeterminada de radiação em relação com a

outra.

9. Método, de acordo com a reivindicação 8, **caracterizado** pelo fato de a configuração da primeira região de detector e da segunda região de detector detectar
5 a mesma quantidade de radiação cada uma.

10. Método, de acordo com a reivindicação 8 ou 9, **caracterizado** pelo fato de compreender a configuração de qualquer um ou mais dentre tamanho, formato ou material da
10 região de detector e a segunda região de detector detectem a quantidade predeterminada de radiação em relação com a outra.

11. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 10, **caracterizado** pelo fato de
15 compreender a provisão de um primeiro detector que inclui a primeira região de detector e um segundo detector que inclui a segunda região de detector.

12. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 11, **caracterizado** pelo fato de
20 compreender a irradiação do objeto com uma radiação em mais de dois perfis de energia, tal como em três perfis de energia ou quatro perfis de energia ou cinco perfis de energia ou seis perfis de energia ou sete perfis de energia.

25 13. Método de varredura de objetos sobrepostos **caracterizado** pelo fato de compreender o uso do método, conforme definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 12, para a determinação de uma informação relativa a cada objeto sobreposto em uma região do objeto a qual não se
30 sobrepõe a um outro objeto e usando a informação

determinada para o cálculo de um valor de detecção de referência ou valores relativos a um valor ou a valores que se espera que sejam detectados na região na qual os objetos se sobrepõem na ausência de outros objetos que não estão presentes fora da região de superposição e usando o método, conforme definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 12, para a avaliação de uma informação relativa à região na qual os objetos se sobrepõem e a comparação da informação avaliada com os valores esperados, para se determinar se um objeto adicional está presente na região na qual os objetos se sobrepõem.

14. Sistema de varredura para varredura de um objeto **caracterizado** pelo fato de compreender uma fonte de radiação de nível de energia variável disposta para irradiar um objeto com radiação tendo uma pluralidade de perfis de energia diferentes incluindo um primeiro perfil de energia que tem uma energia de pico de pelo menos 1 MeV e um segundo perfil de energia relativamente mais baixo tendo uma energia de pico de pelo menos 0,5 MeV, um arranjo de detector disposto para detectar uma radiação após ter interagido com ou passado através do objeto, em que o arranjo de detector compreende uma primeira região de detector que tem uma espessura de pelo menos 2 mm e disposta para a detecção da radiação e uma segunda região de detector que tem uma espessura de pelo menos 5 mm e disposta para a detecção da radiação, em que a segunda região de detector é disposta para receber a radiação que passou através da primeira região de detector, o sistema compreendendo ainda:

um controlador disposto para determinar informação

relativa ao objeto com base na informação a partir das primeira e segunda regiões de detector com relação às primeira e segunda radiações de perfil de energia, e em que o controlador é disposto para calcular a relação $(A/B)_1/(A/B)_2$, de modo a se determinar uma informação relativa ao objeto com base na relação calculada, em que A é indicativo da quantidade de radiação detectada na primeira região de detector, B é indicativo da quantidade de radiação detectada na segunda região de detector, $(A/B)_1$ é a relação da primeira radiação de perfil detectada na primeira região de detector em relação à primeira radiação de perfil detectada na segunda região de detector, e $(A/B)_2$ é a relação da segunda radiação de perfil detectada na primeira região de detector em relação à segunda radiação de perfil detectada na segunda região de detector.

15. Sistema de varredura, de acordo com a reivindicação 14, **caracterizado** pelo fato de compreender um controlador disposto para coordenar um sincronismo de irradiação de eventos, de modo que uma informação detectada obtida em resposta a um evento de irradiação seja enviada a partir das regiões de detector antes de o próximo evento ocorrer.

16. Sistema de varredura, de acordo com a reivindicação 14 ou 15, **caracterizado** pelo fato de a primeira região de detector ser posicionada entre o objeto e a segunda região de detector.

17. Sistema de varredura, de acordo com qualquer uma das reivindicações 14 a 16, **caracterizado** pelo fato de que o controlador é disposto para determinar uma informação pela introdução da informação a partir das primeira e

segunda regiões de detector com relação às primeira e segunda radiações de perfil de energia em uma técnica de minimização de mínimos quadrados para a obtenção de uma informação relativa ao objeto.

5 18. Sistema de varredura, de acordo com qualquer uma das reivindicações 14 a 17, **caracterizado** pelo fato de compreender uma pluralidade de arranjos de detector, cada arranjo de detector compreendendo uma primeira região de detector e uma segunda região de detector.

10 19. Sistema de varredura, de acordo com a reivindicação 18, **caracterizado** pelo fato de compreender um concentrador e um comutador dispostos para coerentemente retransmitirem uma informação acumulada a partir das regiões de detector.

15 20. Sistema de varredura, de acordo com qualquer uma das reivindicações 14 a 19, **caracterizado** pelo fato de que a primeira região de detector e a segunda região de detector são configuradas para detectar a mesma quantidade de radiação de cada uma.

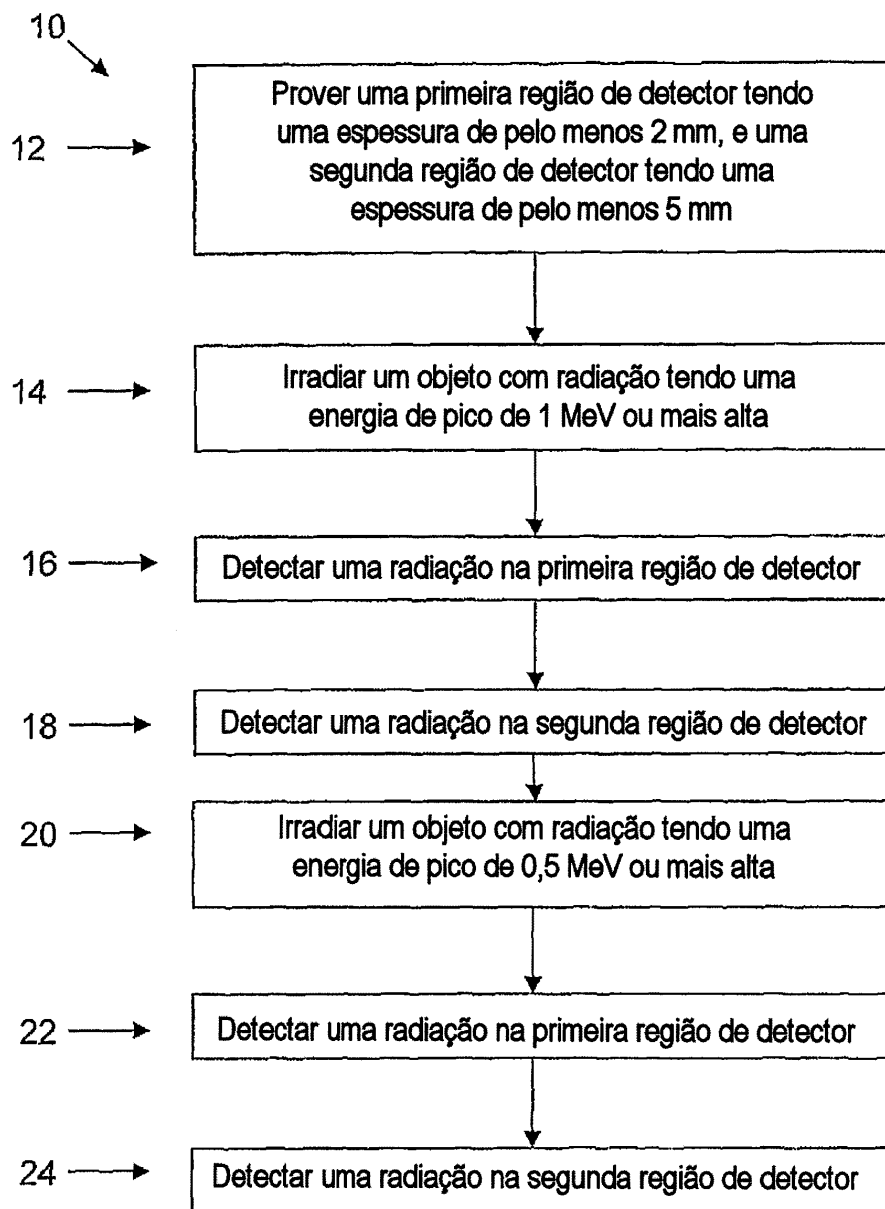


Figura 1

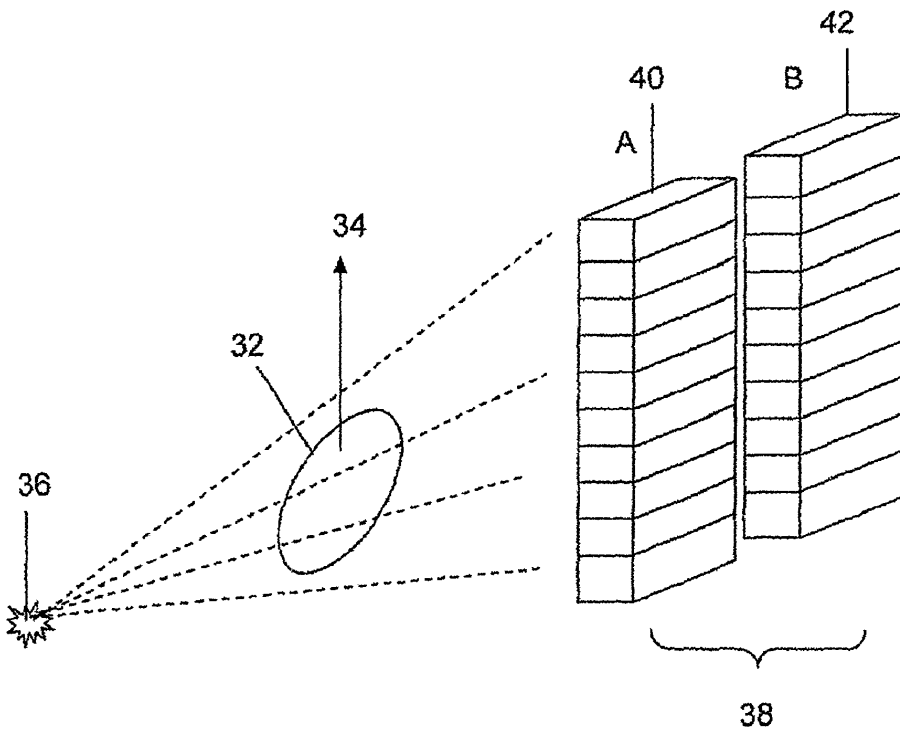


Figura 2

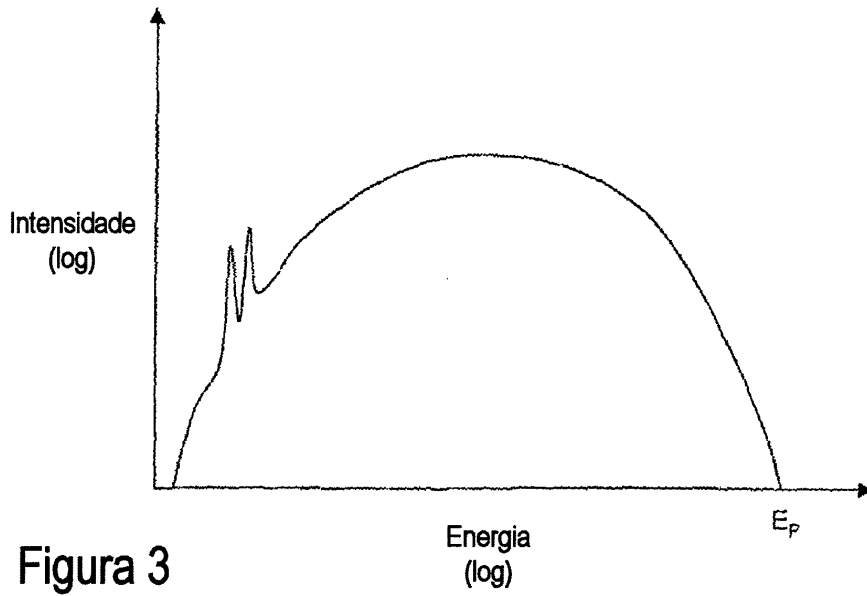


Figura 3

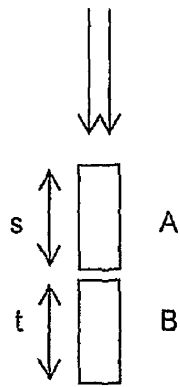


Figura 4

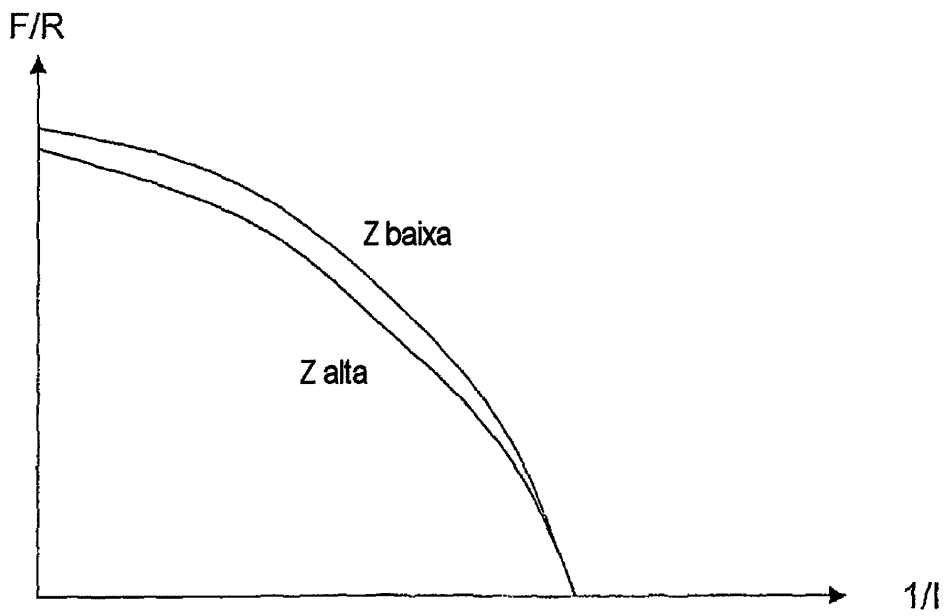


Figura 5

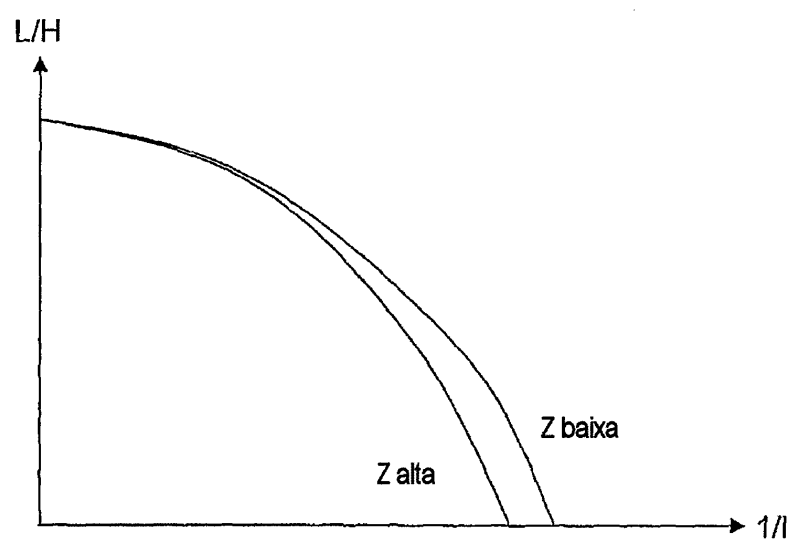


Figura 6

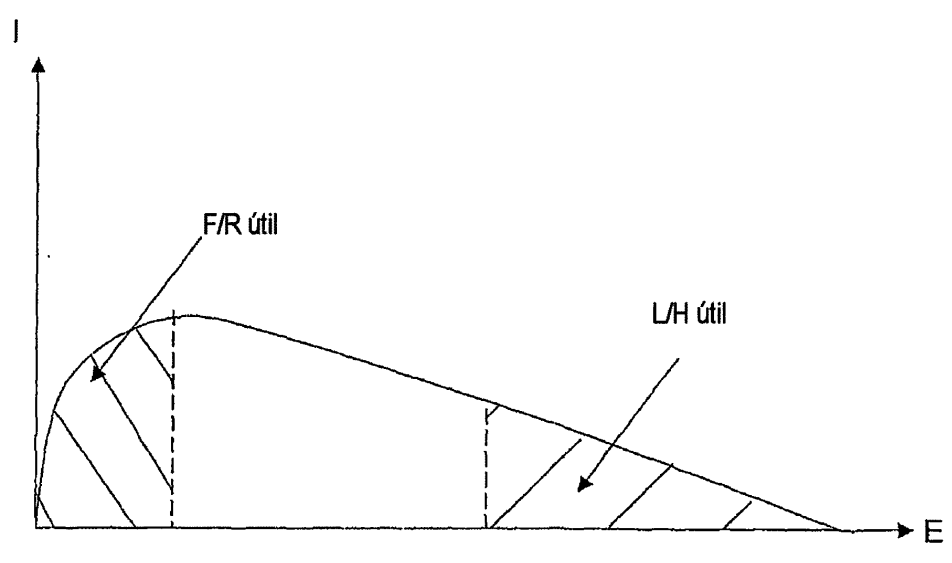


Figura 7

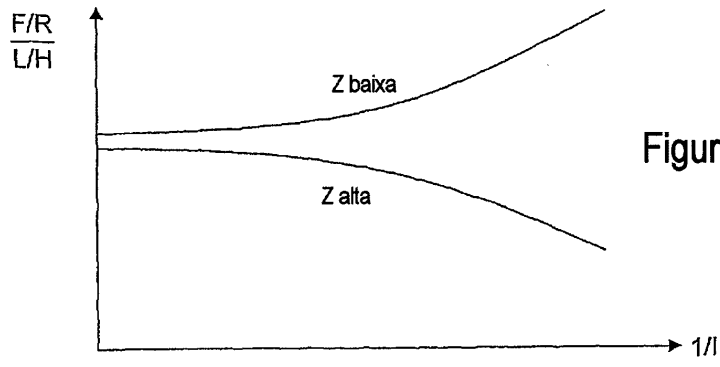
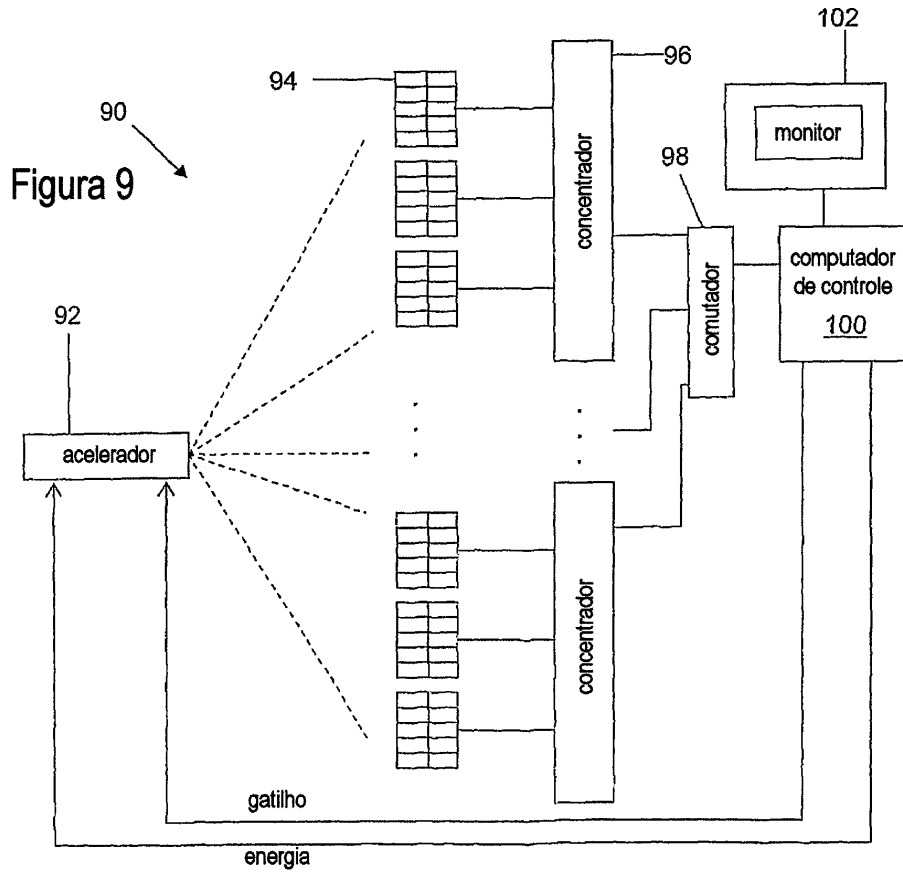


Figura 8



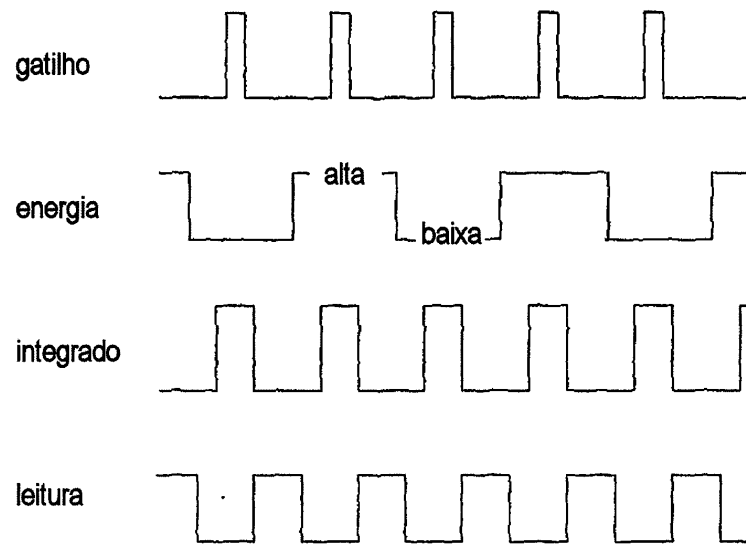


Figura 10

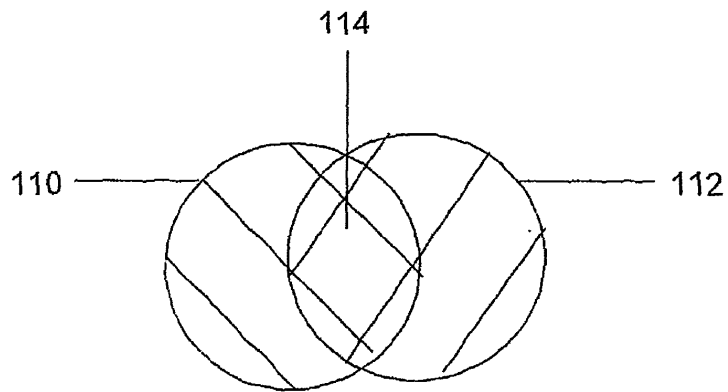


Figura 11