



República Federativa do Brasil

Ministério do Desenvolvimento, Indústria,
Comércio e Serviços

Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) BR 102021020801-5 A2

(22) Data do Depósito: 17/10/2021

(43) Data da Publicação Nacional:
25/04/2023

(54) Título: TOMÓGRAFO ÓPTICO E PROCESSO DE IMAGEAMENTO DE DOCUMENTOS FÍSICOS FECHADOS

(51) Int. Cl.: G01N 21/84; G01N 33/26; G01N 33/34.

(52) CPC: G01N 21/84; G01N 33/26; G01N 33/34.

(71) Depositante(es): UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO; UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO; UNIVERSIDADE DE ÉVORA.

(72) Inventor(es): JOSÉ ROGÉRIO DE OLIVEIRA CAMPOS; EDGAR VITOR DE ALBUQUERQUE SANTOS; ANDERSON MONTEIRO AMARAL; LEONARDO DE SOUZA MENEZES; WELLINGTON PINHEIRO DOS SANTOS; ANTÓNIO JOSÉ ESTÊVÃO GRANDE CANDEIAS; RICARDO EMMANUEL DE SOUZA.

(57) Resumo: TOMÓGRAFO ÓPTICO E PROCESSO DE IMAGEAMENTO DE DOCUMENTOS FÍSICOS FECHADOS. A presente invenção descreve um tomógrafo óptico para imageamento de documentos físicos. Especificamente, a presente invenção compreende uma câmara escura dotada de emissores e detectores de radiação eletromagnética nas regiões espectrais do visível e do infravermelho capaz de produzir uma imagem virtualmente aberta e planificada do documento físico fechado. A presente invenção se situa nos campos da engenharia da computação e tecnologia da informação, voltada para a área da informação e óptica.



Relatório Descritivo de Patente de Invenção**TOMÓGRAFO ÓPTICO E PROCESSO DE IMAGEAMENTO
DE DOCUMENTOS FÍSICOS FECHADOS****Campo da Invenção**

[0001] A presente invenção descreve um tomógrafo óptico para imageamento de documentos físicos. Mais especificamente, a presente invenção compreende uma câmara escura dotada de emissores e detectores de radiação eletromagnética nas regiões espectrais do visível e do infravermelho capaz de produzir uma imagem virtualmente aberta e planificada do documento físico fechado. A presente invenção se situa nos campos da engenharia da computação e tecnologia da informação, voltada para a área da informação e óptica.

Antecedentes da Invenção

[0002] Na última década, foram realizados grandes esforços para desenvolvimento de técnicas e métodos de recuperação de informações contidas em documentos antigos fechados. Estes documentos fechados possuem suporte de vários tipos como papel, pergaminho, linho, couro, metal, etc. Além disso, o estado físico destes documentos varia consideravelmente, porém frequentemente o suporte se encontra em nível de degradação elevado, tornando o documento muito frágil para ser manuseado.

[0003] Na busca pelo estado da técnica em literaturas científica e patentária, foram encontrados os seguintes documentos que tratam sobre o tema:

[0004] Em relação a documentos de papel e/ou pergaminho, as primeiras tentativas de recuperação do conteúdo escrito foram feitas a partir de tomógrafos de raios X usualmente projetados para uso em radiografia humana. Estas tentativas foram descritas nos documentos “Opaque Document Imaging: Building Images of Inaccessible Texts” dos autores Y. Lin e W.B. Seales, no documento

“Virtual Unrolling Using X-Ray Computed Tomography” dos autores D. Allegra, E. Ciliberto, P. Ciliberto, F. L. M. Milotta, G. Petrillo, F. Stanco e C. Trombatone e no documento “Revealing text in a complexity rolled siver scroll from Jerash with computed tomography and advanced imaging software” dos autores G. H. Barfod, J. M. Larsen, A. Lichtenberger e R. Raja. Contudo, a resolução deste equipamento não foi suficiente para revelar caracteres de tamanhos milimétricos. Porém, os resultados mostraram que a abordagem parecia correta, sendo apenas uma questão de resolução espacial para se atingir o objetivo de recuperação de conteúdo escrito.

[0005] Com o objetivo de aumentar a resolução espacial, passou-se a utilizar a micro tomografia por raios X, descritas nos documentos “9º International Conference on NDT of Art” dos autores R. Baumann, D. C. Porter e W. B. Seales, no documento “Virtual Reading of a Large Ancient Handwritten Science Book” dos autores F. Albertin, A. Patera, I. Jerjen, S. Hartmann, E. Peccenini, F. Kaplan, M. Stampanoni, R. Kaufmann e G. Margaritondo e no documento “Revealing Hidden text in Rolled and Folded Papyri” dos autores D. Baum, N. Lindow, H. C. Hege, V. Lepper, T. Siopi, F. Kutz, K. Mahlow e H. E. Mahnke. Nesta situação, os resultados de recuperação de conteúdo melhoraram. Contudo, dependendo do suporte e do tipo de tinta das escritas, o contraste ainda não era suficiente para o reconhecimento de vários caracteres.

[0006] Desta forma, outras formas de recuperação de conteúdo foram desenvolvidas por pesquisadores a partir da tomografia por raios X, como um equipamento usando fontes de raios X produzidos por acelerador de partículas usando contraste de fase para produzir as imagens planificadas. Este equipamento foi descrito no documento “Revealing letters in rolled Herculaneum papyri by X-ray phase-contrast imaging” dos autores V. Mocella, E. Brun, C. Ferrero e D. Delatte. Com este equipamento, foi possível recuperar escritos em um documento carbonizado durante a erupção do vulcão Vesúvio no ano 79 d.C. A lava do vulcão atingiu as cidades de Herculano e Pompeia, na Itália, e cobriu total ou parcialmente várias moradias, bem como prédios de empresas e

instalações do governo. Muitos documentos foram carbonizados em uma atmosfera pobre em oxigênio, por terem sido encobertos, e assim de fato carbonizados, mas mantiveram-se inteiros. Ou seja, estes documentos não se despedaçaram como usualmente aconteceria se fossem queimados ao ar livre.

[0007] O avanço mais recente nesta área utiliza duas fontes de raios X e dois detectores de quadratura, revelados pelo documento “Reading closed historical manuscripts using dual-source dual energy X-Ray tomography” dos autores I. Kumpová, D. Vavrik e M. Vopálenský, com as duas fontes podendo trabalhar em diferentes níveis de energia.

[0008] Ainda, o documento WO2015189817A2 revela um tomógrafo por raios X utilizado para recuperação de informações deste tipo. Os documentos US7701588B2, US20150182136A1, US9149180B2, US9730649B1 e US9750413 revelam equipamentos em tomografia óptica que utilizam o fenômeno da reflexão e são direcionadas para aplicações médicas ou industriais e não citam uso em recuperação de conteúdo de documentos fechados.

[0009] Além disso, os equipamentos de tomografia por raios X citados possuem uma série de problemas associados, uma vez que a radiação X é ionizante e, além do perigo da atuação dos raios X sobre os operadores do tomógrafo, há o fato de a radiação ionizante acelerar o processo de degradação dos documentos estudados. Ademais, a manipulação de feixes de raios X é muito complexa.

[0010] Além do mais, a recuperação de informação de documentos fechados por tomografia por raios X é muito cara, requer grandes espaços para estudar documentos relativamente pequenos, bem como os espaços ocupados tem acesso restrito devido à radiação, além de demandar elevado custo de manutenção e requerer profissionais com treinamento específico e em regime de trabalho especial. Desta forma, poucas instituições no mundo teriam condições de adquirir, instalar e manter um equipamento de micro tomografia por raios X com planificação virtual de documentos.

[0011] Assim, do que se depreende da literatura pesquisada, não foram

encontrados documentos antecipando ou sugerindo os ensinamentos da presente invenção, de forma que a solução aqui proposta possui novidade e atividade inventiva frente ao estado da técnica.

Sumário da Invenção

[0012] Dessa forma, a presente invenção resolve os problemas do estado da técnica a partir de um tomógrafo óptico que permite realizar a microtomografia de documentos fechados usando radiação eletromagnética não ionizante, na região espectral do visível e/ou infravermelho. Ainda, possibilita utilização de método de contraste entre os suportes dos documentos e o material usado na grafia da informação contida nos documentos. Ademais, tomógrafos ópticos são sistemas relativamente baratos que não requerem grandes espaços, sendo estes espaços sem restrição de acesso, além de ter baixo custo de manutenção e não exigir pessoal com treinamento e regime de trabalho especiais.

[0013] Em um primeiro objeto, a presente invenção apresenta um tomógrafo óptico para imageamento de documentos físicos fechados que compreende ao menos uma câmara escura dotada de:

- a. ao menos um emissor de radiação eletromagnética;
- b. ao menos um detector de radiação eletromagnética;
- c. ao menos um suporte para fixação de documentos disposto entre ao menos um emissor e ao menos um detector de radiação eletromagnética; e
- d. ao menos um algoritmo de reconstrução de imagens;

em que o suporte para fixação de documentos rotaciona o documento em torno do eixo vertical em passos angulares fixos e/ou desloca o documento verticalmente para cima ou para baixo em passos fixos por meio de ao menos um motor de passo controlado por um microcontrolador.

[0014] Em um segundo objeto, a presente invenção apresenta um processo de imageamento de documentos físicos fechados que compreende as

etapas de:

- a. calibração e estabilização térmica da câmara escura por meio do sistema de controle geral;
- b. fixação de um documento físico fechado em um suporte para fixação de documentos;
- c. definição de parâmetros de controle do experimento por meio do sistema de controle geral;
- d. emissão de radiação eletromagnética em um documento físico fechado por meio de ao menos um emissor de radiação eletromagnética executado por meio do sistema de aquisição de sinais;
- e. detecção e validação de radiação eletromagnética por meio de ao menos um detector de radiação eletromagnética executado por meio do sistema de pré-processamento de sinais;
- f. reconstrução de imagem das seções transversais do documento por meio do sistema de reconstrução de imagens;
- g. planificação do documento por meio da interface gráfica do sistema de controle geral.

[0015] Estes e outros objetos da invenção serão imediatamente valorizados pelos versados na arte e serão descritos detalhadamente a seguir.

Breve Descrição das Figuras

[0016] São apresentadas as seguintes figuras:

[0017] A figura 1 mostra documentos na forma de rolo.

[0018] A figura 2 mostra documentos parcialmente destruídos como consequência da tentativa de abri-los.

[0019] A figura 3 mostra espectros típicos de testes de absorção de papeis.

[0020] A figura 4 mostra espectros mostrando a diferença entre a absorção do papel e da tinta para diferentes densidades de tinta.

[0021] A figura 5 mostra uma concretização da presente invenção.

[0022] A figura 6 mostra gráfico da transmitância em função do número de folhas de papel atravessadas pela radiação eletromagnética.

[0023] A figura 7 mostra um fluxograma de operação da presente invenção.

[0024] A figura 8 mostra uma concretização de um fantoma físico de documento aberto.

[0025] A figura 9 mostra uma concretização das partes do fantoma físico fechado em espiral.

[0026] A figura 10 mostra uma concretização de uma imagem da fita de papel do fantoma já planificada.

Descrição Detalhada da Invenção

[0027] A presente invenção descreve uma câmara escura com emissores e detectores de radiação eletromagnética nas regiões espectrais do visível e do infravermelho. Um documento físico fechado é posicionado entre os emissores e detectores e é rotacionado em passos angulares fixos. A radiação emitida pelos emissores atravessa parcialmente o documento e tem seus valores de intensidade medidos e validados. Um algoritmo de reconstrução de imagens processa estes valores e produz uma imagem do documento virtualmente aberto e planificado, revelando seu conteúdo.

[0028] Em um primeiro objeto, a presente invenção apresenta um tomógrafo óptico para imageamento de documentos físicos fechados que compreende ao menos uma câmara escura dotada de:

- a. ao menos um emissor de radiação eletromagnética;
- b. ao menos um detector de radiação eletromagnética;
- c. ao menos um suporte para fixação de documentos disposto entre ao menos um emissor e ao menos um detector de radiação eletromagnética; e
- d. ao menos um algoritmo de reconstrução de imagens;

em que o suporte para fixação de documentos rotaciona o documento em torno

do eixo vertical em passos angulares fixos e/ou desloca o documento verticalmente para cima ou para baixo em passos fixos por meio de ao menos um motor de passo controlado por um microcontrolador.

[0029] Para fins de compreensão, “documento físico fechado” compreende um documento na forma de rolo, dobrado ou amassado sobre ele próprio, ou seja, um documento que para ter seu conteúdo visualizado, é necessário obrigatoriamente a sua abertura. A figura 1 mostra vários documentos na forma de rolo.

[0030] Para fins de compreensão, “documento interditado ao manuseio” compreende um documento que esteja em estado físico de degradação elevada e/ou sob risco de desagregação parcial ou completa caso seja manipulado. Nesta situação, a tentativa de abrir um documento fechado para recuperar informação pode resultar na sua destruição. A figura 2 mostra documentos parcialmente destruídos como consequência da tentativa de abri-los.

[0031] Em uma concretização, o tomógrafo óptico produz uma imagem que exibe uma representação virtual do suporte do documento com a informação nele registrada. Em síntese, realiza-se uma tomografia óptica de um documento fechado e se obtém uma imagem que representa o documento aberto, apresentando o conteúdo nele depositado.

[0032] Em uma concretização, a radiação eletromagnética emitida por ao menos um emissor de radiação eletromagnética e detectada por ao menos um detector de radiação eletromagnética pertence à região espectral do visível e do infravermelho. A figura 5 mostra uma concretização do tomógrafo óptico.

[0033] Em uma concretização, a câmara escura é dotada de emissores e detectores de radiação eletromagnética nas regiões espectrais do visível e do infravermelho.

[0034] A tomografia é executada por transmissão de radiação eletromagnética. Em uma concretização, o documento é fixado em um suporte para fixação de documentos que fica localizado entre os emissores e os detectores.

[0035] Em uma concretização, o dito suporte pode executar dois tipos de movimento durante a tomografia, podendo rotacionar em torno do eixo vertical, em passos angulares fixos, até completar o deslocamento angular de 180° ou 360°, ou o suporte pode descolar-se na vertical para cima ou para baixo em passos fixos até completar o deslocamento vertical que cobre a região de interesse do documento.

[0036] Em uma concretização, o tomógrafo possui um eixo vertical paralelo ao suporte para fixação de documentos dotado de ao menos um emissor de radiação eletromagnética e ao menos um detector de radiação eletromagnética.

[0037] Em uma concretização, o tomógrafo óptico possui vários modos de operação e que dependem de qual propriedade da radiação eletromagnética interage com a matéria é escolhida para produzir contraste entre o suporte para fixação de documentos e o material usado para grafar a informação. Desta forma, pode ser utilizada absorção, espalhamento linear e não linear, polarização, fluorescência e fase ou interferometria, dependendo se são processados um ou dois feixes. Ainda, dependendo do modo selecionado, há variação no número e no tipo de emissores e detectores. Ademais, a geometria de disposição espacial dos componentes dentro da câmara também varia de acordo com a seleção da propriedade de contraste.

[0038] Em uma concretização, a câmara escura compreende adicionalmente ao menos um espelho, ao menos uma lente, ao menos um divisor de feixe, ao menos um filtro espacial e/ou espectral, ao menos um polarizador, ao menos um arranjo de fotodiodo e ao menos uma câmera.

[0039] Em uma concretização, o arranjo de fotodiodo compreende ao menos um sistema de refrigeração. O dito sistema mantém a estabilidade térmica e a estabilidade de operação do arranjo.

[0040] Em uma concretização, o algoritmo de reconstrução de imagens compreende:

- a. ao menos um sistema de controle geral;

- b. ao menos um sistema de controle do experimento;
- c. ao menos um sistema de aquisição de sinais;
- d. ao menos um sistema de pré-processamento de sinais;
- e. ao menos um sistema de reconstrução de imagens; e
- f. ao menos um sistema de planificação de imagens;

em que,

- o sistema de controle do experimento e o sistema de aquisição de sinais são controlados por ao menos um microcontrolador; e
- o sistema de pré-processamento de sinais, o sistema de reconstrução de imagens e o sistema de planificação de imagens são controlados pelo sistema de controle geral.

[0041] Em uma concretização, o sistema de controle geral compreende uma interface gráfica executável em um dispositivo eletrônico portátil. Em uma concretização, dispositivo eletrônico portátil compreende um computador, notebook, laptop, tablet, smartphone, etc.

[0042] Em uma concretização, o sistema de controle do experimento é controlado por meio de microcontroladores, sob a supervisão do sistema de controle geral executado em um dispositivo eletrônico portátil, por exemplo, um computador principal. Uma vez iniciado um experimento de aquisição de tomografia óptica, o sistema de controle geral executa funções de calibração e testes do sistema através dos microcontroladores, habilitando o sistema para operação normal.

[0043] Em uma concretização, o operador do tomógrafo define, por meio do sistema de controle geral, os parâmetros de controle do experimento de tomografia, como por exemplo, a intensidade do feixe, o *duty circle* da modulação do feixe, o ângulo de escaneamento do suporte para fixação de documentos, o número de passos angulares, o tempo de exposição ao feixe, etc.

[0044] Em uma concretização, o sistema de aquisição de sinais é controlado por microcontroladores sob a supervisão do sistema de controle geral no computador principal. O dito sistema de aquisição de sinais é utilizado tanto

na fase de testes, antes do experimento, como durante os experimentos, utilizando os parâmetros descritos anteriormente.

[0045] Em uma concretização, o sistema de pré-processamento de sinais, o sistema de reconstrução de imagens e o sistema de planificação de imagens são controlados pelo sistema de controle geral no computador principal, sem atuação dos microcontroladores.

[0046] Em uma concretização, o sistema de pré-processamento de sinais realiza filtragem digital, bem como realiza testes de validação dos sinais adquiridos.

[0047] Em uma concretização, quando a validade dos sinais adquiridos é verificada, o sistema de reconstrução de imagens é acionado. O dito sistema de reconstrução utiliza o método usual de *back projection* e posterior filtragem para produzir imagens de fatias perpendiculares ao eixo longitudinal do documento, por exemplo, na direção vertical.

[0048] Em uma concretização, o sistema de planificação de imagens tem como entrada as imagens das fatias do documento produzidas no sistema de reconstrução de imagens.

[0049] Em um segundo objeto, a presente invenção apresenta um processo de imageamento de documentos físicos fechados que compreende as etapas de:

- a. calibração e estabilização térmica da câmara escura por meio do sistema de controle geral;
- b. fixação de um documento físico fechado em um suporte para fixação de documentos;
- c. definição de parâmetros de controle do experimento por meio do sistema de controle geral;
- d. emissão de radiação eletromagnética em um documento físico fechado por meio de ao menos um emissor de radiação eletromagnética executado por meio do sistema de aquisição de sinais;
- e. detecção e validação de radiação eletromagnética por meio de ao

menos um detector de radiação eletromagnética executado por meio do sistema de pré-processamento de sinais;

f. reconstrução de imagem das seções transversais do documento por meio do sistema de reconstrução de imagens;

g. planificação do documento por meio da interface gráfica do sistema de controle geral.

[0050] Em uma concretização, para realização do processo de imageamento de documentos físicos fechados, um operador do tomógrafo, inicialmente, com a câmara escura vazia e fechada, aciona o sistema de controle geral que abre uma interface gráfica. Quando o sistema de controle geral é iniciado, testes de comunicação, estabilização térmica, calibração, etc., são realizados na câmara. Ao concluir esta etapa, o operador abre a câmara escura e posiciona o documento no suporte para fixação de documentos e fecha a câmara. Com o auxílio de uma câmera no interior da câmara escura, o operador define o posicionamento inicial do documento. Em seguida, por meio da interface gráfica do sistema de controle geral, o operador define os parâmetros para realização da tomografia óptica. Assim, concluída a aquisição dos dados por meio da emissão e detecção de radiação eletromagnética, o sistema realiza a validação dos dados. Desta forma, o operador aciona o sistema de reconstrução de imagens das seções transversais do documento. Ainda, o operador pode visualizar as imagens das seções transversais para decidir se há contraste suficiente entre o suporte do documento e os símbolos grafados. Por fim, o operador aciona o sistema de planificação de imagens do documento e obtém-se a abertura virtual do documento físico fechado.

[0051] Por meio deste processo, informações de documentos históricos fechados e que não possam ser abertos por estarem em elevado estado de degradação e sob risco de destruição parcial ou completa podem ser revelados. Usualmente, instituições depositárias dos documentos são museus, bibliotecas, arquivos públicos, coleções particulares, etc.

[0052] Ainda, este processo de imageamento por tomógrafo óptico pode

ser utilizado em pesquisas históricas em geral, especialmente na área de antropologia, arqueologia e sociologia, uma vez que estas áreas possuem grandes acervos de documentos fechados e interditados. Ademais, este processo auxilia no conhecimento de culturas do passado.

Exemplo 1 – Tomógrafo óptico para abertura virtual de documentos físicos fechados

[0053] Os exemplos aqui mostrados têm o intuito somente de exemplificar uma das inúmeras maneiras de se realizar a invenção, contudo sem limitar, o escopo da mesma.

[0054] Nesta concretização, foi produzido um tomógrafo óptico constituído de uma câmara escura com emissores e detectores de radiação eletromagnética nas regiões espectrais do visível e do infravermelho.

[0055] Um documento físico fechado é posicionado entre os emissores e detectores e é rotacionado em passos angulares fixos em um suporte para fixação de documentos. A cada ângulo, a radiação emitida pelos emissores atravessa parcialmente o documento e tem seus valores de intensidade medidos e armazenados em um computador. O algoritmo de reconstrução de imagens processa estes valores e produz uma imagem do documento virtualmente aberto e planificado, revelando seu conteúdo.

[0056] Experimentos foram realizados com o intuito de verificar se havia transmissão de radiação eletromagnética em amostras de papel e contraste entre os suportes e a tinta da escrita.

[0057] Foram testados vários tipos de suportes, como papeis para impressão, filtro de papel para análise química quantitativa e papeis para restauração de documentos e papeis do século XIX. Adicionalmente, nas amostras de papeis para impressão, testou-se o contraste entre os suportes e diferentes tipos de tintas.

[0058] A operação de um tomógrafo óptico requer a definição da região do espectro eletromagnético que otimiza o contraste por extinção. Foram realizados

vários experimentos de espectroscopia de absorção na região do espectro eletromagnético cobrindo infravermelho, visível e ultravioleta, com vários tipos de papeis e tintas.

[0059] A figura 3 mostra espectros típicos testando apenas a absorção de papeis. A curva (A) ilustra o espectro de absorção do papel branco. As curvas (B, C, D e E) ilustram espectros de absorção de papeis do século XIX, em que a curva (B) refere-se a um papel de 1863, a curva (C) refere-se a um papel de 1872, a curva (D) refere-se a um papel de 1883 e a curva (E) refere-se a um papel de 1898. A curva (F) ilustra o espectro de absorção do papel Whatman®. A curva (G) ilustra o espectro de absorção do papel Gampi. A curva (H) ilustra o espectro de absorção do papel Mulberry. A curva (I) ilustra o espectro de absorção do papel Okawara 40g. A curva (J) ilustra o espectro de absorção do papel Tengujo. A curva (K) ilustra o espectro de absorção do papel Sudare. A curva (L) ilustra o espectro de absorção do papel Mawish 9g.

[0060] A figura 4 mostra espectros de absorção de várias amostras, do mesmo papel, com diferentes concentrações de tinta por unidade de área, ilustrando a diferença entre a absorção do papel e da tinta para diferentes densidades de tinta.

[0061] O primeiro protótipo foi implementado a partir de uma câmara escura com geometria aproximada de um cubo de 50 cm de lado, montada sobre uma mesa óptica. Os emissores e detectores operam na região do espectro eletromagnético que corresponde à radiação no infravermelho. Neste protótipo, os dispositivos foram mantidos em posições fixas dentro da câmara. A figura 5 mostra a montagem do primeiro protótipo.

[0062] Amostras de papel comum para impressão foram montadas na posição vertical e foram realizadas medições dos valores das intensidades de transmissão em função do número de folhas de papel. A aquisição dos sinais foi realizada por um microcontrolador e transmitida para o computador principal, onde ocorre o processamento da informação. A figura 6 mostra um gráfico da transmitância em função do número de folhas de papel atravessadas pela

radiação eletromagnética.

[0063] Um segundo protótipo foi projetado e sua diferença em relação ao protótipo 1 é que o suporte da amostra, ainda fixo em uma posição dentro da câmara escura, pode rotacionar pois possui um eixo vertical solidário ao eixo de um motor de passo que é controlado por um microcontrolador. O sincronismo entre o acionamento dos emissores, a janela de detecção dos detectores e a rotação do suporte do documento é realizado pelo computador principal.

[0064] Um terceiro protótipo foi projetado e a diferença para protótipo 2 é a passagem de um grau de liberdade (rotação) para cinco graus de liberdade. Desta forma, três graus para o suporte da amostra, dois de translação e um de rotação, além de dois detectores ambos de translação.

[0065] Os dois graus de liberdade de translação são implementados como em um *plotter* e o grau de liberdade rotacional é implementado usando-se um motor de passo, com redutor, se necessário.

[0066] Os graus de liberdade de translação para os detectores permitem, para o caso de detectores arranjos de fotodiodos, procedimentos mais sofisticados de calibração. Ainda, no caso dos arranjos de fotodiodos, um sistema de refrigeração para estes detectores foi projetado de modo a manter a estabilidade térmica e conseqüentemente a estabilidade da resposta destes detectores. Este sistema representa um acessório que aumenta a sensibilidade do instrumento.

[0067] Todas as medições de intensidade dos feixes transmitidos são relativas às medições de intensidade de um feixe de referência que não passa pelo documento estudado. Desta forma, no protótipo 3 o feixe é dividido, originando um feixe de referência e o feixe de trabalho. Os feixes seguem trajetórias diferentes e têm seus valores de intensidade comparados depois de detectados.

[0068] A execução de todas as tarefas do tomógrafo óptico é realizada por um ou dois microcontroladores e um computador principal. Os microcontroladores fazem a interface entre os dispositivos sensores ou

atuadores, que estão na câmara, e o computador principal. A figura 7 mostra um fluxograma de operação.

[0069] O algoritmo desenvolvido foi executado nos três protótipos mencionados anteriormente.

[0070] O sistema de controle do experimento tem a execução realizada nos microcontroladores, sob a supervisão do sistema de controle geral executado no computador principal. Uma vez iniciado um experimento de aquisição de tomografia óptica, o programa de controle geral executa algumas tarefas de calibração e testes do sistema, através dos microcontroladores, habilitando o sistema para operação normal.

[0071] Através do sistema de controle geral, o operador define os parâmetros de controle do experimento de tomografia, como a intensidade do feixe, *duty circle* da modulação do feixe, ângulo de escaneamento, número de passos angulares, tempo de exposição ao feixe, etc.

[0072] O sistema de aquisição de sinais é executado pelos microcontroladores sob a supervisão do computador principal, sendo utilizado tanto na fase de testes, antes do experimento, como durante os experimentos.

[0073] Os sistemas de pré-processamento de sinais, reconstrução de imagens e planificação de imagens são executados pelo computador principal sem atuação dos microcontroladores.

[0074] O sistema de pré-processamento realiza filtragem digital e testes de validação de sinais adquiridos.

[0075] O sistema de reconstrução de imagens utiliza o método de *back projection* e posterior filtragem produzindo imagens de fatias perpendiculares ao eixo longitudinal do documento.

[0076] O sistema de planificação de imagens tem como entrada as imagens das fatias do documento.

[0077] O desenvolvimento do algoritmo de reconstrução de imagens foi possível através da utilização de dados reais de tomografias de raios X. Usando-se tomógrafo de raios X, da marca Nikon, modelo XT H 225 ST, foram realizadas

tomografias de raios X de um fantoma físico confeccionado para testar o programa de planificação de imagens.

[0078] A figura 8 mostra um fantoma físico aberto em fita de papel comum para impressão com escrita realizada com dois tipos de tinta ferrogálica, sendo que a tinta ferrogálica tipo 1 contém 1,0g de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 5,5g de Tanino Vegetal Hidrolisável (castanheiro KPN), 2,0g de goma arábica e 5,0mL de etanol; e a tinta ferrogálica tipo 2 contém 1,0g de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 5,5g de Tanino Vegetal Condensado (Weibull), 2,0g de goma arábica e 5,0mL de etanol.

[0079] A figura 9 mostra as partes do fantoma da figura 8 fechado em espiral e mantida na posição por uma forma de isopor, em que (10) indica o suporte superior, (11) indica o fantoma físico e (12) indica o suporte inferior.

[0080] A figura 10 mostra uma imagem da fita de papel do fantoma da figura 8 já planificado e aberto virtualmente.

[0081] Os versados na arte valorizarão os conhecimentos aqui apresentados e poderão reproduzir a invenção nas modalidades apresentadas e em outras variantes e alternativas, abrangidas pelo escopo das reivindicações a seguir.

Reivindicações

1. Tomógrafo óptico para imageamento de documentos físicos fechados **caracterizado** por compreender ao menos uma câmara escura dotada de:
 - a. ao menos um emissor de radiação eletromagnética;
 - b. ao menos um detector de radiação eletromagnética;
 - c. ao menos um suporte para fixação de documentos disposto entre ao menos um emissor e ao menos um detector de radiação eletromagnética; e
 - d. ao menos um algoritmo de reconstrução de imagens;em que o suporte para fixação de documentos rotaciona o documento em torno do eixo vertical em passos angulares fixos e/ou desloca o documento verticalmente para cima ou para baixo em passos fixos por meio de ao menos um motor de passo controlado por um microcontrolador.
2. Tomógrafo óptico para imageamento de documentos físicos fechados, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de a radiação eletromagnética emitida por ao menos um emissor de radiação eletromagnética e detectada por ao menos um detector de radiação eletromagnética pertence à região espectral do visível e do infravermelho.
3. Tomógrafo óptico para imageamento de documentos físicos fechados, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** por compreender adicionalmente ao menos um eixo vertical paralelo ao suporte para fixação de documentos dotado de ao menos um emissor de radiação eletromagnética e ao menos um detector de radiação eletromagnética.
4. Tomógrafo óptico para imageamento de documentos físicos fechados, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, **caracterizado** pelo fato de a câmara escura compreender adicionalmente ao menos um espelho, ao menos uma lente, ao menos um divisor de feixe, ao menos um filtro espacial e/ou espectral, ao menos um polarizador, ao menos um arranjo de fotodiodo e ao menos uma câmera.
5. Tomógrafo óptico para imageamento de documentos físicos fechados, de

acordo com a reivindicação 4, **caracterizado** pelo fato de o arranjo de fotodiodo compreender ao menos um sistema de refrigeração.

6. Tomógrafo óptico para imageamento de documentos físicos fechados, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de o algoritmo de reconstrução de imagens compreender:

- a. ao menos um sistema de controle geral;
- b. ao menos um sistema de controle do experimento;
- c. ao menos um sistema de aquisição de sinais;
- d. ao menos um sistema de pré-processamento de sinais;
- e. ao menos um sistema de reconstrução de imagens; e
- f. ao menos um sistema de planificação de imagens;

em que,

- o sistema de controle do experimento e o sistema de aquisição de sinais são controlados por ao menos um microcontrolador; e
- o sistema de pré-processamento de sinais, o sistema de reconstrução de imagens e o sistema de planificação de imagens são controlados pelo sistema de controle geral.

7. Tomógrafo óptico para imageamento de documentos físicos fechados, de acordo com a reivindicação 6, **caracterizado** pelo fato de o sistema de controle geral compreender uma interface gráfica executável em um dispositivo eletrônico portátil.

8. Processo de imageamento de documentos físicos fechados **caracterizado** por compreender as etapas de:

- a. calibração e estabilização térmica da câmara escura por meio do sistema de controle geral;
- b. fixação de um documento físico fechado em um suporte para fixação de documentos;
- c. definição de parâmetros de controle do experimento por meio do sistema de controle geral;
- d. emissão de radiação eletromagnética em um documento físico

fechado por meio de ao menos um emissor de radiação eletromagnética executado por meio do sistema de aquisição de sinais;

e. detecção e validação de radiação eletromagnética por meio de ao menos um detector de radiação eletromagnética executado por meio do sistema de pré-processamento de sinais;

f. reconstrução de imagem das seções transversais do documento por meio do sistema de reconstrução de imagens;

g. planificação do documento por meio da interface gráfica do sistema de controle geral.

9. Processo de imageamento de documentos físicos fechados, de acordo com a reivindicação 7, **caracterizado** pelo fato de ser realizado por meio de um tomógrafo óptico para imageamento de documentos físicos fechados.

Figuras



Figura 1



Figura 2

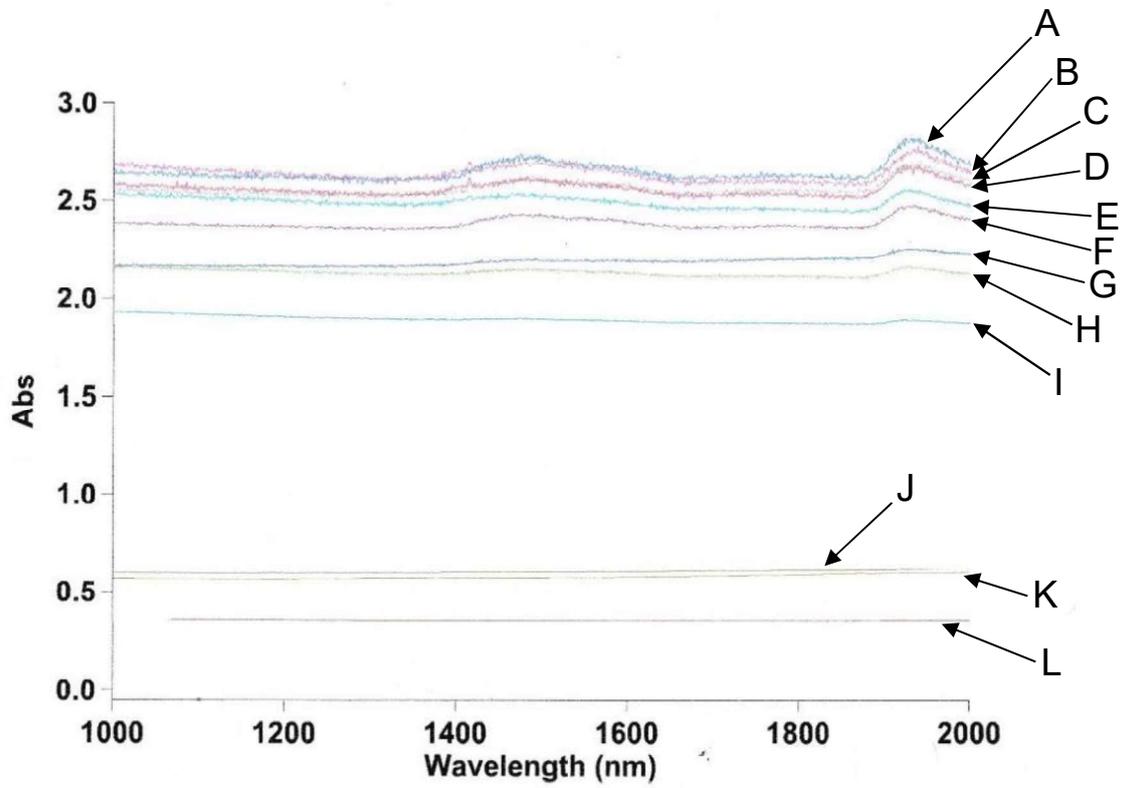


Figura 3

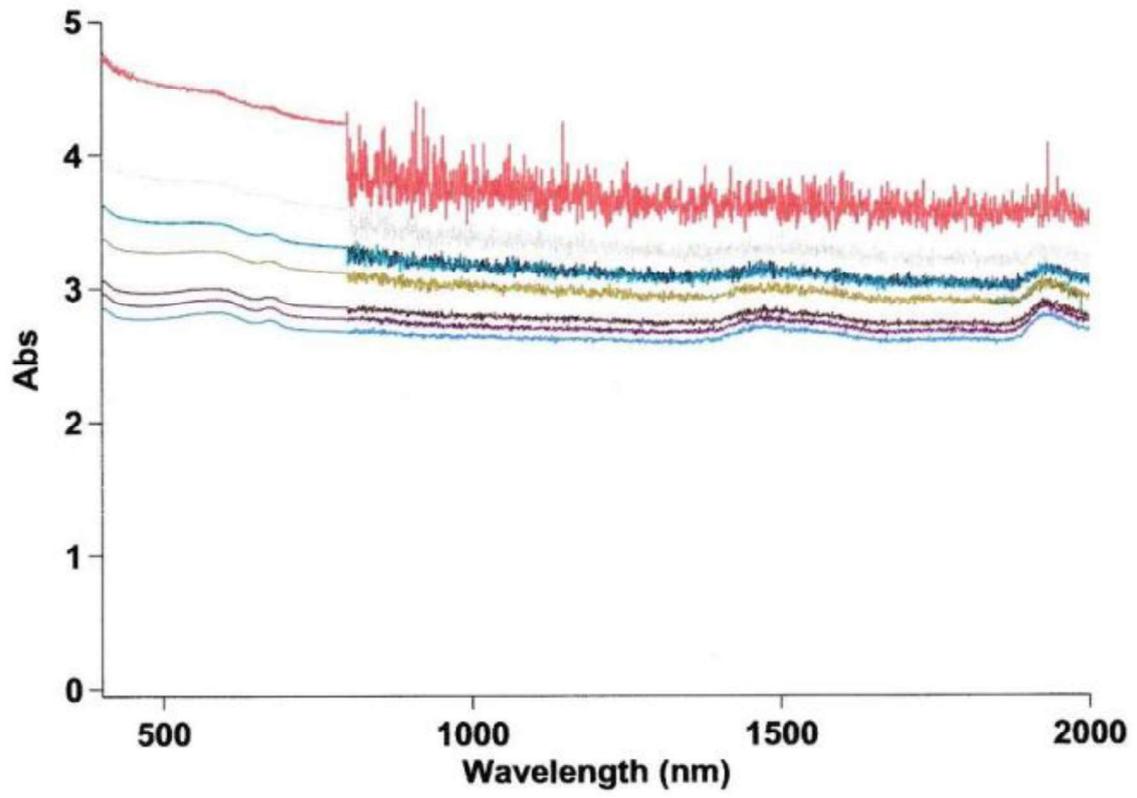


Figura 4

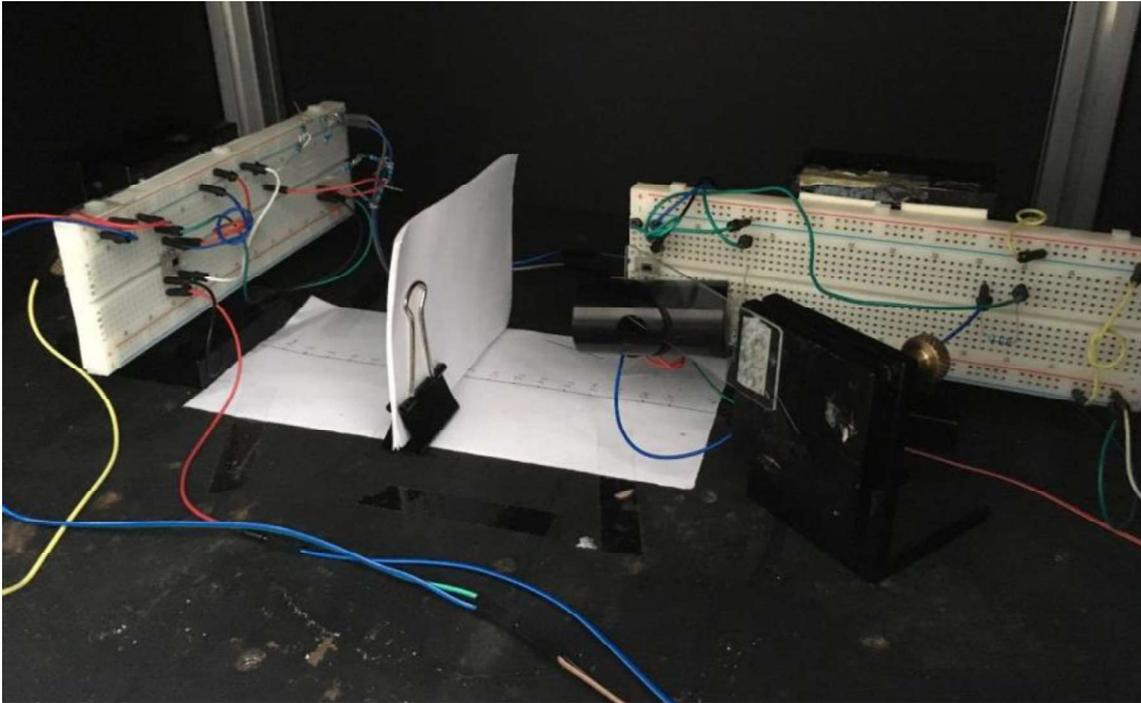


Figura 5

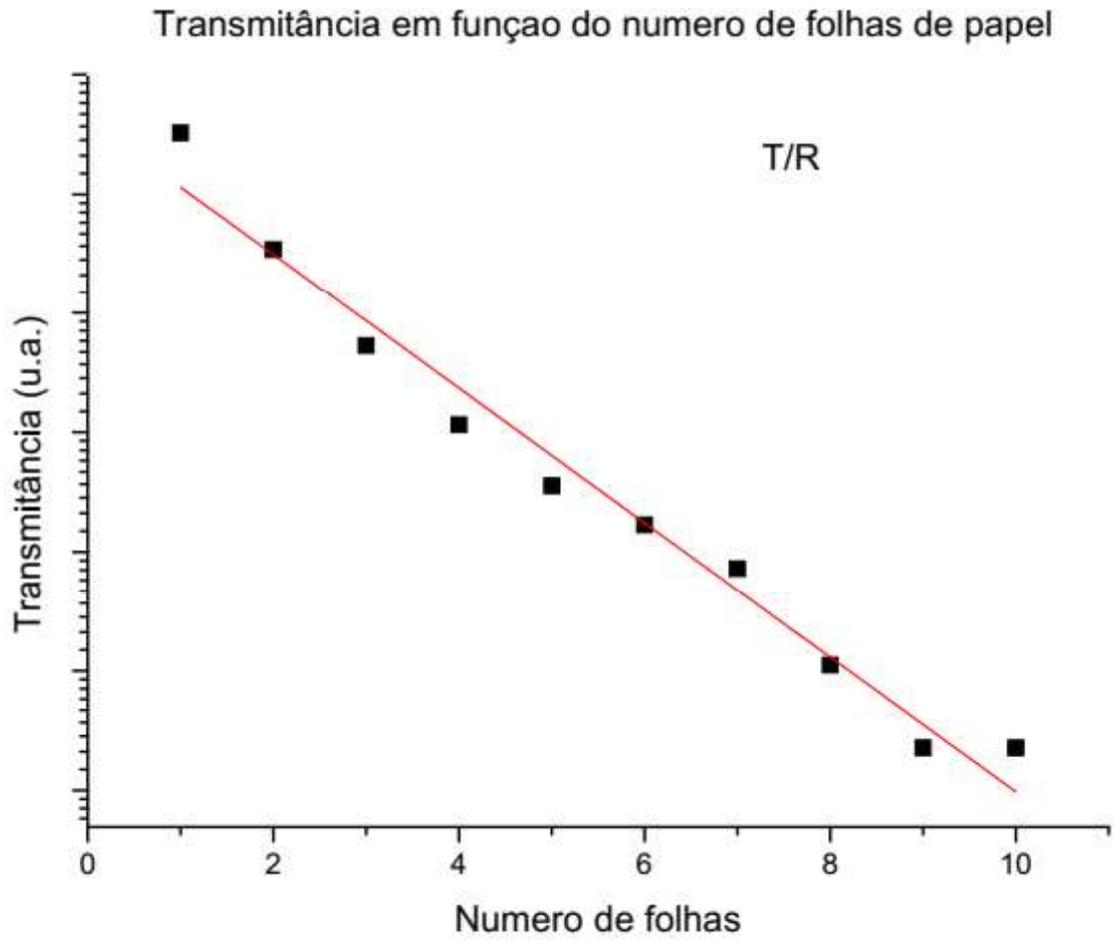


Figura 6

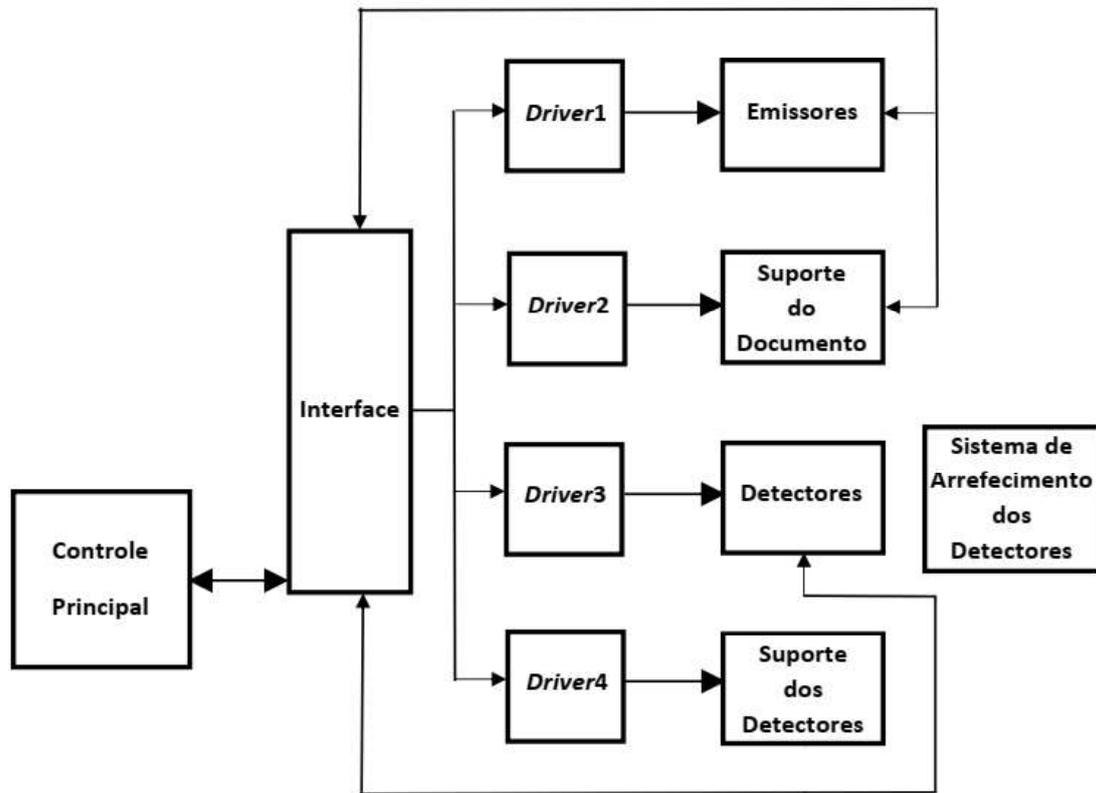


Figura 7

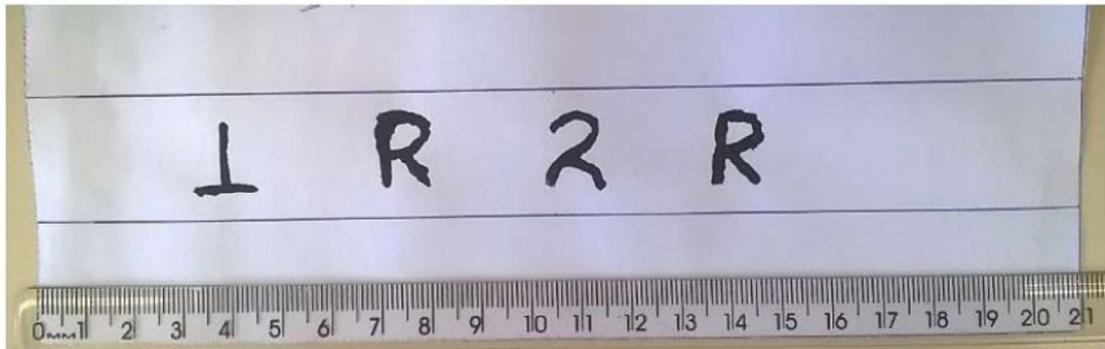


Figura 8

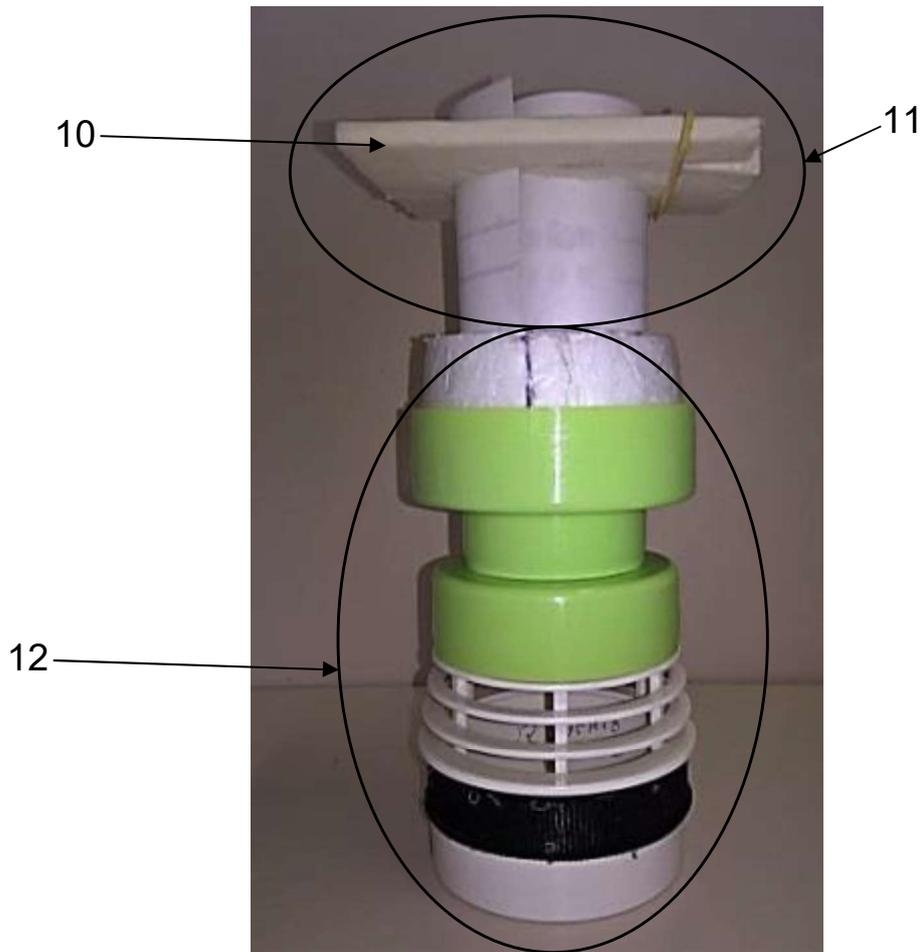


Figura 9

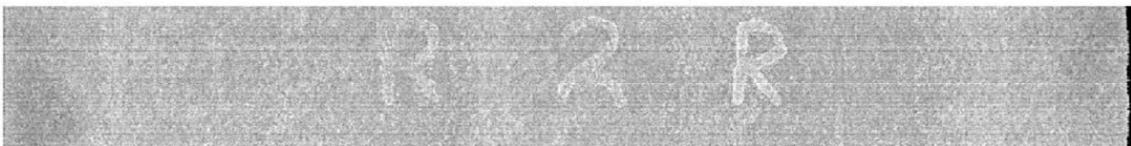


Figura 10

Resumo**TOMÓGRAFO ÓPTICO E PROCESSO DE IMAGEAMENTO
DE DOCUMENTOS FÍSICOS FECHADOS**

A presente invenção descreve um tomógrafo óptico para imageamento de documentos físicos. Especificamente, a presente invenção compreende uma câmara escura dotada de emissores e detectores de radiação eletromagnética nas regiões espectrais do visível e do infravermelho capaz de produzir uma imagem virtualmente aberta e planificada do documento físico fechado. A presente invenção se situa nos campos da engenharia da computação e tecnologia da informação, voltada para a área da informação e óptica.