



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

(11) BR 102015020396-9 B1



(22) Data do Depósito: 24/08/2015

(45) Data de Concessão: 10/11/2020

(54) Título: MÉTODO E SISTEMA PARA DETECTAR PROPAGAÇÃO DE FRATURA EM UM ESPÉCIME DE TESTE DE MATERIAL

(51) Int.Cl.: G01N 19/08; G01N 3/06.

(30) Prioridade Unionista: 28/08/2014 US 14/472,300.

(73) Titular(es): THE BOEING COMPANY.

(72) Inventor(es): JORDAN JEROME HANDLER.

(57) Resumo: MÉTODO E SISTEMA PARA DETECTAR PROPAGAÇÃO DE FRATURA EM UM ESPÉCIME DE TESTE DE MATERIAL Um sistema e método para detectar propagação de fratura em um espécime de teste de material pode incluir contrastar em cor um superfície de um espécime de teste, adquirir uma pluralidade de imagens fotográficas do espécime durante a aplicação de uma carga de tensão, processar a pluralidade de espécimes para detectar características de pixel que estão fora de uma faixa de linha de base de características de pixel indicativa de um contraste entre uma fratura no espécime de teste e a superfície contrastada em cor do espécime de teste, e gerar uma saída de uma taxa de liberação de energia de deformação com base em mudanças em comprimento de fratura detectadas com o tempo.

“MÉTODO E SISTEMA PARA DETECTAR PROPAGAÇÃO DE FRATURA EM UM ESPÉCIME DE TESTE DE MATERIAL”

Campo

[001] Esta descrição é relativa a teste de espécime. Mais especificamente, as modalidades descritas são relativas a sistemas e métodos para detectar desenvolvimento de fratura em um espécime de teste durante a aplicação de uma carga de tensão.

Fundamento

[002] Componentes estruturais e/ou outros materiais podem ser testados para determinar suas características materiais. Determinar as características materiais de um componente estrutural e/ou material pode ser importante na determinação, por exemplo, se ou não aquele componente ou material é adequado para uma utilização específica. Em alguns testes, um espécime, que é representativa de um componente estrutural específico e/ou material, pode ser selecionada. Durante o teste uma ou mais forças podem ser aplicadas ao espécime de teste para determinar as características daquele espécime. Em alguns testes, uma ou mais forças podem ser aplicadas para induzir e/ou propagar uma fratura no espécime de teste. Nestes testes, medir o comprimento da fratura e a carga associada fornece informação com relação a características materiais do espécime de teste. Um exemplo de uma característica de material que pode ser calculada com base no comprimento ou extensão da fratura e carga associada é o teste de liberação de energia de deformação.

[003] Equipamento de formação de imagem de raios-X foi utilizado para detectar e medir fraturas em espécimes de teste. O equipamento de formação de imagem de raios-X pode capturar e processar um número limitado de imagens durante um período de tempo específico, tal como aproximadamente uma imagem durante um período de três segundos. Adicionalmente, as fraturas mostradas nas imagens de raios-X. tipicamente

são medidas manualmente por uma pessoa, utilizando uma régua ou fita métrica (seja física ou digital). Características de material são então calculadas com base no comprimento medido da fratura.

[004] Contudo, características de material de um espécime de teste podem não ser determinadas de maneira precisa ou calculadas utilizando o método acima. Por exemplo, apenas um número limitado de imagens de raios-X pode ser obtido durante propagação de uma fratura em um espécime de teste quando comparada à velocidade de uma câmara digital. Adicionalmente, as fraturas nas imagens de raios-X podem não ser medidas de maneira precisa por uma pessoa utilizando uma regra régua; uma vez que imagens de raios-X consistem de quadros tomados na média, pode não haver indicação clara de onde termina uma fratura. Determinação imprecisa de características de material pode conduzir à seleção de um componente ou material que não seja adequado para sua utilização projetada, o que pode conduzir à falha prematura daquele componente ou material enquanto em serviço.

Sumário

[005] A presente descrição fornece um método de detectar propagação de fratura em um espécime de teste de material. Em algumas modalidades um método pode incluir contrastar em cor uma superfície de um espécime de teste e adquirir uma pluralidade de imagens fotográficas do espécime durante aplicação de uma carga de teste. Em algumas modalidades o método pode incluir processar a pluralidade de imagens para detectar características de pixels que estão fora de uma faixa de linha de base de características de pixel indicativas de um contraste entre uma fratura no espécime de teste e a superfície contrastada em cor do espécime de teste. Em algumas modalidades o método pode incluir gerar uma saída de uma taxa de liberação de energia de deformação com base em mudanças em comprimento de fratura detectadas com o tempo.

[006] A presente descrição fornece um sistema para detectar a

propagação de fratura em um espécime de teste de material. Em algumas modalidades o sistema pode incluir uma plataforma de teste configurada para suportar um espécime de teste de material sobre um fundo. A espécime de teste de material pode ter uma superfície de topo de cor que contrasta com uma cor de superfície do fundo. Em algumas modalidades o sistema pode incluir uma câmera direcionada no sentido da plataforma de teste, configurada para adquirir uma pluralidade de imagens fotográficas de um espécime de teste localizada sobre a plataforma durante a aplicação de uma carga de tensão ao espécime de teste. Em algumas modalidades o sistema pode incluir um programa de processamento de imagem que recebe a pluralidade de imagens fotográficas. O programa de processamento de imagem pode ser configurado para detectar na pluralidade de imagens fotográficas características de pixel que estão fora de uma faixa de linha de base de características de pixel e medir mudanças em um comprimento de fratura detectado com base nas características de pixel detectadas.

[007] A presente descrição fornece um método de detectar propagação de fratura em um espécime de teste. Em algumas modalidades o método pode incluir suportar um espécime de teste sobre um fundo. A espécime pode ter uma cor de superfície de topo que contrasta com uma cor de superfície do fundo. Em algumas modalidades o método pode incluir aplicar uma carga de tensão ao espécime e adquirir diversas imagens fotográficas de um comprimento de fratura que se estende no espécime durante uma etapa de aplicação. Em algumas modalidades o método pode incluir detectar características de pixel que são diferentes de características de pixel associadas com a cor da superfície de topo para medir o comprimento de fratura no espécime.

[008] Os aspectos, funções e vantagens podem ser alcançados de maneira independente em diversas modalidades da presente descrição, ou podem ser combinados em ainda outras modalidades; maiores detalhes do que

podem ser vistos com referência à descrição e desenhos que seguem.

Breve descrição dos desenhos

[009] A figura 1 é um diagrama esquemático de um sistema ilustrativo de detecção de fratura.

[0010] A figura 2 é um diagrama esquemático de um espécime de teste ilustrativa, antes da formação de uma fratura.

[0011] A figura 3 é um diagrama esquemático do espécime de teste da figura 2 durante formação e/ou propagação de uma fratura.

[0012] A figura 4 é um diagrama esquemático do espécime de teste da figura 2 durante propagação da fratura da figura 3.

[0013] A figura 5 é um gráfico ilustrativo que mostra carga contra deslocamento, para carga de tensão aplicada ao espécime de teste da figura 2.

[0014] A figura 6 é um diagrama esquemático de pixels de uma imagem fotográfica ilustrativa do espécime de teste da figura 2, que mostra valores vermelhos ilustrativos para aqueles pixels.

[0015] A figura 7 é um diagrama esquemático de pixels de uma imagem fotográfica ilustrativa do espécime de teste da figura 2, que mostra valores verdes ilustrativos para aqueles pixels.

[0016] A figura 8 é um diagrama esquemático de pixels de uma imagem fotográfica ilustrativa do espécime de teste da figura 2, que mostra valores azuis ilustrativos para aqueles pixels.

[0017] A figura 9 é um diagrama esquemático de pixels de uma imagem fotográfica ilustrativa do espécime de teste da figura 4, que mostra valores vermelhos ilustrativos para aqueles pixels.

[0018] A figura 10 é um diagrama esquemático de pixels de uma imagem fotográfica ilustrativa do espécime de teste da figura 4, que mostra valores verdes ilustrativos para aqueles pixels.

[0019] A figura 11 é um diagrama esquemático de pixels de uma imagem fotográfica ilustrativa do espécime de teste da figura 4, que mostra

valores azuis ilustrativos para aqueles pixels.

[0020] A figura 12 é um diagrama esquemático de uma matriz ilustrativa gerada com base nos diagramas esquemáticos das figuras 9 a 11.

[0021] A figura 13 é um fluxograma que delinea um método ilustrativo de detecção de desenvolvimento de fratura.

[0022] A figura 14 é um diagrama esquemático de diversos componentes de um sistema ilustrativo de processamento de dados.

Descrição

Visão geral

[0023] Diversas modalidades de sistemas e métodos para detectar desenvolvimento de fratura estão descritas abaixo e ilustrados nos desenhos associados. A menos que especificado de outra maneira, um sistema ou método, e/ou seus diversos componentes podem, porém não são solicitados a conter no mínimo um de estrutura, componentes, funcionalidade e/ou variações descritas, ilustradas e/ou incorporadas aqui. Além disto, as estruturas, componentes, funcionalidades e/ou variações descritas, ilustradas e/ou incorporadas aqui em conexão com os presentes ensinamentos podem, porém não são solicitadas, a serem indicadas em outros sistemas e métodos similares. A descrição que segue de diversas modalidades é meramente tomada como exemplo por natureza e, em forma alguma, projetada para limitar a descrição sua aplicação ou utilizações. Adicionalmente, as vantagens fornecidas pelas modalidades como descritas abaixo, são ilustrativas por natureza, e nem todas as modalidades fornecem as mesmas vantagens ou os mesmos graus de vantagens.

[0024] Aspectos dos sistemas e métodos para detectar desenvolvimento de fratura podem ser configurados como um método de computador, sistema de computador, ou produto programa de computador. Consequentemente, estes aspectos podem assumir a forma de uma modalidade totalmente de hardware, uma modalidade totalmente de software

(que inclui firmware, software residente, microcódigo e similares, ou uma modalidade que combina aspectos de software e hardware, todos os quais podem ser referidos aqui, de maneira genérica, como um circuito, módulo ou sistema. Além disto, aspectos dos sistemas e métodos para detectar desenvolvimento de fratura podem assumir a forma de um produto programa de computador, configurado em um meio legível por computador ou meios que têm código de programa/instruções ilegíveis por computador configuradas sobre ele, tal como instruções para processar uma pluralidade de imagens fotográficas para detectar características de pixels, como mais discutido abaixo.

[0025] Qualquer combinação de meios legíveis por computador para os sistemas e métodos para detectar desenvolvimento de fratura pode ser utilizada. Meios legíveis por computador podem ser um meio de sinal legível por computador e/ou um meio de armazenagem legível por computador. Um meio de armazenagem legível por computador pode incluir um sistema, aparelho ou dispositivo eletrônico, magnético ou óptico, eletromagnético, infravermelho, ou qualquer combinação adequada deles. Exemplos mais específicos de um meio de armazenagem legível por computador pode incluir o que segue: uma conexão elétrica que tem um ou mais fios, um disquete de computador portátil, um disco rígido, uma memória de acesso aleatório (RAM), uma memória apenas de leitura (ROM) uma memória apenas de leitura programável apagável (EPROM ou memória rápida), uma fibra óptica, uma memória apenas de leitura de disco compacto portátil (CD-ROM), um dispositivo óptico de armazenagem, um dispositivo de magnético de armazenagem e/ou qualquer combinação adequada dos mesmos, e/ou similares. No contexto desta descrição, um meio de armazenagem legível por computador pode incluir qualquer meio tangível adequado que possa conter ou armazenar um programa para utilização por ou em conexão com um sistema, aparelho ou dispositivo de execução de instrução.

[0026] Um meio de sinal legível por computador pode incluir um sinal de dados propagado com código de programa legível por computador configurado nele, por exemplo, em banda de base ou como parte de uma onda portadora. Tal sinal propagado pode assumir qualquer de uma variedade de formas que incluem, porém, não limitadas a eletromagnética, óptica e/ou qualquer combinação adequada delas. Um meio de sinal legível por computador pode incluir qualquer meio legível por computador que não seja um meio de armazenagem legível por computador e que seja capaz de comunicar, propagar ou transportar um programa para utilização por, ou em conexão com um sistema, aparelho ou dispositivo de execução de instrução, tal como o sistema para detectar o desenvolvimento de fratura da presente descrição.

[0027] Código de programa para detectar desenvolvimento de fratura configurado em um meio legível por computador pode ser transmitido utilizando qualquer meio apropriado que inclui, porém, não limitado a, sem fio, ou em linha de cabo, cabo de fibra óptica, RF e/ou similar, e/ou qualquer combinação adequada dos mesmos.

[0028] Código de programa de computador para detectar desenvolvimento de fratura pode ser escrito em uma ou qualquer combinação de linguagens de programação, que inclui uma linguagem de programação orientada para objeto, tal como Java, Smalltalk, C++, e/ou similares, e linguagens de programação procedurais convencionais, tal como a linguagem de programação C. O código de programa pode executar inteiramente em um computador de usuário, parcialmente no computador de usuário, como um pacote de software independente, parcialmente no computador de usuário e parcialmente em um computador remoto, ou inteiramente no computador ou servidor remoto. Neste último cenário o computador remoto pode ser conectado ao computador de usuário através de qualquer tipo de rede, que inclui uma rede de área local (LAN), ou uma rede de área ampla (WAN) e/ou

a conexão pode ser feita a um computador externo (por exemplo, através da Internet utilizando um Provedor de Serviço Internet).

[0029] Aspectos de sistemas e métodos para detectar desenvolvimento de fratura estão descritos abaixo com referência a ilustrações de fluxograma e/ou diagramas de blocos de métodos, aparelhos, sistemas e/ou produtos programas de computador, de acordo com aspectos da presente descrição. Cada bloco e/ou combinação de blocos em um fluxograma e/ou diagrama de blocos, pode ser implementado por instruções de programa de computador. As instruções de programa de computador podem ser fornecidas para um processador de um computador de finalidade genérica, computador de finalidade especial, ou outros aparelhos programáveis de processamento de dados, para produzir uma máquina, tal que as instruções que são executadas através do processador do computador ou outros aparelhos programáveis de processamento de dados, criam meios para implementar as funções/atos especificados no fluxograma e/ou bloco ou blocos de diagrama de blocos, tal como processar imagens fotográficas e gerar saída daquele processamento.

[0030] As instruções de programa de computador para detectar desenvolvimento de fratura podem também ser armazenadas em um meio legível por computador que possa direccionar um computador diferentemente de outros aparelhos de processamento de dados programáveis e/ou outro dispositivo para funcionar em uma maneira específica, tal que as instruções armazenadas no meio legível por computador produzam um artigo de fabricação que inclui instruções que implementam a função/ato especificada no fluxograma e/ou bloco ou blocos de diagrama de blocos.

[0031] As instruções de programa de computador para detectar desenvolvimento de fratura podem também ser carregadas em um computador diferente de aparelho programável de processamento de dados e/ou outro dispositivo, para fazer com que uma série de etapas operacionais seja realizada no dispositivo, para produzir um processo implementado por

computador, tal que as instruções que são executadas no computador ou outro aparelho programável forneçam processos para implementar as funções/atos especificadas no fluxograma e/ou bloco blocos do diagrama de blocos, tal como processar imagens fotográficas e gerar saída a partir deste processamento.

[0032] Qualquer fluxograma e/ou diagrama de blocos nos desenhos é projetado para ilustrar a arquitetura, funcionalidade e/ou operação de possíveis implementações de sistemas e métodos para detectar desenvolvimento de fratura. Com relação a isto, cada bloco pode representar um módulo, segmento, ou porção de código, que compreende uma ou mais instruções executáveis para implementar as funções lógicas especificadas. Em algumas implementações as funções anotadas no bloco podem ocorrer fora de ordem quanto a ordem anotada nos desenhos. Por exemplo, dois blocos mostrados em sucessão podem, de fato, ser executados substancialmente de forma concorrente, ou os blocos podem, algumas vezes, ser executados na ordem inversa, dependendo da funcionalidade envolvida. Cada bloco e/ou combinação de blocos, pode ser implementada por sistemas baseados em hardware de finalidade especial, ou combinações de hardware de finalidade especial e instruções de computador que realizam as funções especificadas ou atos, para detectar o desenvolvimento de fratura.

Definições

[0033] “Contraste de cor” se refere a uma superfície de um espécime de teste que tem uma cor que é diferente da cor do interior daquele espécime e/ou da cor de um fundo. Por exemplo, a espécime de teste pode ser dotada de uma superfície ou camada superior contrastada em cor. Alternativamente ou adicionalmente, um contraste de cor pode ser aplicado à superfície do espécime de teste, tal como um revestimento de contraste de cor.

[0034] “Altamente contrastada” se refere a uma superfície de um espécime de teste que tem uma cor com uma média e desvio padrão para cada

intensidade Vermelho, Azul, e Verde, tal que cada pixel do fundo ou submaterial (interior do espécime) contém no mínimo um componente RGB com um valor fora do valor médio da superfície \pm três desvios padrão.

[0035] “Características de pixel” se refere a intensidade, nuance, luminosidade e/ou saturação do pixel.

[0036] “Intensidade de pixel” se refere a matiz ou nível do pixel que varia com base na profundidade de cor ou o número de bits. Por exemplo, os valores de intensidade se situam desde 0-255 para 24 bits (“cor verdadeira”).

[0037] “Taxa de liberação de energia de deformação” é a energia dissipada durante fratura por unidade de área superficial de fratura recentemente criada.

Exemplos específicos, componentes principais, e alternativas

[0038] Os exemplos a seguir descrevem aspectos selecionados de sistemas e métodos tomados como exemplo para detecção de desenvolvimento de fratura. Estes exemplos são projetados para ilustração, e não deveriam ser interpretados como limitando o escopo completo da presente descrição. Cada exemplo pode incluir uma ou mais invenções distintas e/ou informação contextual ou relacionada, função e/ou estrutura.

Exemplo 1

[0039] Este exemplo descreve um sistema de detecção de propagação de fratura ilustrativo 20 e um espécime de teste ilustrativa 22, ver figuras 1-5.

[0040] A espécime de teste 22 pode incluir um único componente ou pode incluir diversos componentes. Em alguns exemplos a espécime de teste pode ser uma única folha ou placa que pode incluir uma dobra ou um entalhe (tal como um recorte). Em outros exemplos a espécime de teste 22 pode ser um material compósito que tem dois ou mais materiais constituintes com propriedades físicas ou químicas significativamente diferentes. Por exemplo, os materiais constituintes podem incluir um material matriz (ou ligação) tal como uma resina (por exemplo, epóxi de cura térmica) e um material de

reforço tal como uma pluralidade de fibras (por exemplo, uma camada tecida de fibras de carbono). A espécime de teste pode incluir uma superfície 23, tal como uma superfície de topo, que pode ser uma superfície contrastada em cor. Em alguns exemplos a superfície 23 pode incluir um revestimento que contrasta em cor 23. O revestimento de contraste em cor pode ser um filme com uma tinta, (tal como uma tinta de pulverização), uma mancha, um verniz, uma laca um esmalte e/ou outro revestimento adequado. Em alguns exemplos, tal como quando a espécime de teste inclui duas ou mais camadas, a superfície 23 pode ser uma camada de topo contrastada em cor 23''.

[0041] O sistema de detecção de propagação de fratura 20 pode incluir uma plataforma de teste 24. A plataforma de teste 24 pode incluir qualquer estrutura adequada configurada para suportar a espécime de teste 22 e/ou aplicar cargas de tensão ao espécime de teste. A plataforma de teste 24 pode incluir um ou mais conjuntos suporte 26 que podem incluir qualquer estrutura adequada configurada para ligar a porções adequadas do espécime de teste 22. Os conjuntos suporte podem, por exemplo, incluir grampos, pegas, fixações, etc., era para ligar ao espécime de teste. A plataforma de teste 24 pode aplicar cargas de tensão através de conjuntos suporte 26 e/ou separada dos mesmos conjuntos. Por exemplo, quando a plataforma de teste realiza um teste de resistência a fratura no espécime de teste, os conjuntos suporte podem ser utilizados para deslocar a espécime de teste em direções opostas como mostrado em 27. Alternativamente, tal como quando a plataforma de teste realiza um teste de viga de duplo balanço no espécime de teste 22, uma lâmina ou outra estrutura separada dos conjuntos suporte pode ser inserida entre e/ou através de camadas do espécime de teste. A(s) carga(s) de tensão aplicada(s) ao espécime de teste 22 podem, por exemplo, incluir forças de tensão, forças de tração compressivas e/ou de torção. A plataforma de teste pode ser configurada para aplicar as cargas de tensão em qualquer taxa adequada, constante ou variável. Por exemplo, a plataforma de teste 24

pode aplicar carga(s) de tensão por meio de uma taxa de deslocamento constante ou variável, por meio de força(s) constante(s) ou variável(is), etc. Em alguns exemplos a plataforma de teste 24 pode ser na forma de uma câmara de carregamento e/ou de teste.

[0042] A plataforma 24 também pode incluir um fundo 28. O fundo 28 pode incluir uma superfície ou revestimento de superfície 29. Em alguns exemplos a plataforma de teste pode ser configurada para suportar a espécime de teste 22 no ou sobre o fundo 28. Por exemplo, a plataforma de teste 24 pode suportar a espécime de teste 22 tal que uma câmera (discutido abaixo) pode capturar imagens fotográficas do espécime de teste 22 contra o fundo 28. Em alguns exemplos, a superfície 23 do espécime de teste 22 pode ser contrastada em cor (ou altamente contrastada) em relação ao fundo 28 (ou à superfície 29 daquele fundo). Por exemplo, como mostrado nas figuras 2-4, um espécime de teste que tem uma superfície verde claro 23 é colocada contra um fundo que tem uma superfície branca 29. A espécime de teste pode ser submetida a um deslocamento constante a partir da plataforma de teste, resultando em carga variável como mostrado na figura 5 quando uma fratura 30 se propaga através do espécime de teste.

[0043] Como mostrado na figura 5, a espécime de teste pode inicialmente apresentar comportamento elástico linear. Próximo a uma carga máxima (ou a uma carga crítica), a fratura pode começar a propagar e aumentar em tamanho (o que pode ser de maneira quase instantânea) conduzindo a uma queda na carga. Quando a fratura se propaga nas figuras 3-4, a superfície branca do fundo (ou submaterial) pode ser vista através da fratura. Depois que a carga cai, a espécime de teste pode ser capaz de assumir mais carga novamente, até que a fratura aumente em tamanho, uma vez mais conduzido a outra queda na carga. O aumento e diminuição da carga pode continuar até falha final do espécime de teste. Alternativamente, um corte ou entalhe pode ser introduzido no espécime de teste tal como antes da figura 3,

resultando em propagação da fratura 30 nas figuras 3-4. A fratura 30 tem um comprimento de fratura L na figura 4.

[0044] Embora as figuras 2-4 mostrem um espécime de teste que tem uma fratura 30 que revela uma porção do fundo, a espécime de teste pode ter uma fratura 30 que revele apenas os componentes internos do espécime de teste. Por exemplo, quando a espécime de teste inclui diversas camadas, a fratura 30 pode revelar apenas uma ou mais camadas, tal como uma ou mais camadas internas, e não o fundo. Quando a fratura 30 não é esperada revelar o fundo, a superfície 23 pode, alternativamente ou adicionalmente, ser contrastada em cor em relação à cor do interior do espécime de teste tal como uma ou mais camadas interiores daquele espécime.

[0045] O sistema de detecção de propagação de fratura 20 pode incluir uma câmera 22. A câmera pode incluir qualquer estrutura adequada configurada para adquirir diversas imagens fotográficas do espécime de teste 22, tal como antes, durante e/ou depois da aplicação de uma carga de tensão ao espécime de teste. A câmera 32 pode, por exemplo, ser um dispositivo câmera acoplado em carga (CCD), uma câmera semicondutora de óxido de metal complementar (CMOS), e/ou qualquer câmera adequada. A câmera pode ser posicionada para adquirir imagens fotográficas do espécime de teste 22, tal como contra o fundo 28.

[0046] O sistema de detecção de propagação de fratura 20 pode incluir um sistema de processamento de dados, tal como um computador 34, que tem um programa de processamento de imagem 36. O programa de processamento de imagem 36 pode receber as imagens fotográficas a partir da câmera 32 e pode ser configurado para processar aquelas imagens. Por exemplo, o programa de processamento de imagem 36 pode receber imagens fotográficas a partir da câmera 32 através do trajeto de comunicação 37, que pode incluir conexões sem fio ou com fio. Adicionalmente, o programa de processamento de imagem 36 pode ser configurado para detectar

características de pixel daquelas imagens ou porções daquelas imagens recebidas. Em alguns exemplos o programa de processamento de imagem 36 pode realizar o corte das imagens e/ou foco, em apenas porções particulares daquelas imagens.

[0047] O programa de processamento de imagem 36 pode, por exemplo, ser configurado para determinar características de pixel de uma porção representativa 38 da superfície 23 antes da formação de uma fratura, características de pixel de uma porção de análise 40 da superfície 23 que inclui uma fratura que se propaga, características de pixel de quaisquer outras porções adequadas do espécime de teste 22, etc. A porção representativa 38 pode ter uma cor ou no mínimo uma característica de pixel que é representativa da cor da superfície do espécime de teste enquanto a porção de análise 40 pode incluir a área do espécime de teste na qual a fratura 30 é esperada se formar e/ou propagar. Em alguns exemplos a porção representativa 38 e a porção de análise 40 podem ser a mesma porção, como mostrado nas figuras 2-4, tal como quando o programa de processamento de imagem processa uma ou mais imagens fotográficas do espécime de teste que foram tomadas antes e durante a formação da fratura. Em outros exemplos a porção representativa pode ser uma porção diferente da porção de análise 40, genericamente indicada em 38' na figura 3, tal como quando o programa de processamento de imagem 36 não processa imagens fotográficas do espécime de teste que foram tomadas antes da formação de fratura.

[0048] O programa de processamento de imagem 36 pode ser configurado para medir mudanças em um comprimento de fratura detectado com base em características de pixel detectadas, tal como características de pixel que estão fora de uma faixa de linha de base de características de pixel e/ou que não estão associadas com a cor da superfície 23 do espécime de teste. O programa de processamento de imagem 36 pode ser configurado para gerar uma saída de uma ou mais características de material, tal como uma taxa

de liberação de energia de deformação, com base em propagação de comprimento de fratura. Em alguns exemplos o sistema de propagação de fratura 20 pode incluir um trajeto de comunicação com fio ou sem fio 42 entre o computador 34 e a plataforma de teste 24. Por exemplo, o computador 34 pode receber dados de carga de tensão a partir da plataforma de teste por meio do trajeto de comunicação 42. Em alguns exemplos o sistema de propagação de fratura 20 pode incluir um trajeto de comunicação com fio ou sem fio 44 entre a câmera 32 e a plataforma de teste 24. Por exemplo, a câmera 32 pode receber dados de carga de tensão a partir da plataforma de teste 24 e associar aqueles dados com as imagens fotográficas adquiridas pela câmera. Em alguns exemplos a câmera 32 pode se comunicar com o computador 34, tal que o computador 34 apura a plataforma de teste 24 para dados de carga de tensão quando a câmera 32 adquire imagens fotográficas.

Exemplo 2

[0049] Este exemplo descreve um programa de processamento de imagem 36 adequado para utilização com o sistema de detecção de propagação de fratura 20 como descrito no Exemplo 1; ver figuras 6 a 12.

[0050] O programa de processamento de imagem 36 pode ser configurado para determinar características de pixel das imagens fotográficas tais como intensidades de pixel, nuance, luminosidade e saturação. Por exemplo, quando as imagens fotográficas são imagens preto-e-branco o programa de processamento de imagem pode ser configurado para determinar a intensidade para cada pixel que varia desde preto na intensidade mais baixa até branco na intensidade mais alta, tal como se situando desde 0 até 255. Quando as imagens fotográficas são imagens coloridas, o programa de processamento de imagem 36 pode ser configurado para determinar as intensidades de cada cor primária, a saber, vermelho, verde e azul (RGB). Por exemplo, as intensidades determinadas para cada cor primária podem se situar desde 0 até 255, com um esquema de cor de 24 bits.

[0051] As figuras 6-8 mostram resultados ilustrativos do programa de processamento de imagem 36 que analisa pixels 46 e suas intensidades ou valores de intensidade 48 para a porção representativa 38 do espécime de teste 22 para cada cor primária (por exemplo, vermelho 50, verde 52 e azul 54). Com base na análise, o programa de processamento de imagem podem determinar uma faixa de linha de base de valores de pixel, tal como uma faixa de linha de base para cada cor primária, e/ou pode determinar os valores de pixel associados com a superfície 23 do espécime de teste 22. Por exemplo, as intensidades de pixel de linha de base para a porção representativa 38 na figura 2 são as seguintes:

Valores de pixel vermelho que se situam desde 0-12 com uma média de 6 e um desvio padrão de 2,5;

Valores de pixel verde que se situam desde 150-200 com uma média de 175 e um desvio padrão de 10; e

Valores de pixel azul que se situam desde 1-7 com uma média de 4 e um desvio padrão de 4.

[0052] Alternativamente ou adicionalmente, os valores de pixel acima estão associados com a superfície 23 do espécime de teste. As intensidades de pixel nas figuras 6-8 representam uma superfície verde claro 23 do espécime de teste 22.

[0053] O programa de processamento de imagem também pode ser configurado para determinar intensidades de pixel para cada cor primária, por exemplo, vermelho 56, verde 58, e azul 60 para a porção de análise 40. As figuras 9-11 mostram resultados ilustrativos de programa de processamento de imagem 36 analisando pixels 62 e suas intensidades 64 para a porção de análise 40 do espécime de teste 22 para cada cor primária. Como mostrado nas figuras 9-11, as intensidades para a maior parte de pixels para cada cor primária permaneceram aproximadamente a mesma, exceto para 29 pixels dos 240 pixels mostrados nas figuras 6-8. Nestes 29 pixels as intensidades de

pixel aumentaram para 250-255 para cada cor primária representando o fundo branco que pode ser visto devido à fratura na superfície verde claro do espécime de teste.

[0054] Com base nas intensidades de pixel determinadas, o programa de processamento de imagem 36 pode ser configurado para detectar intensidades de pixel que estão fora de uma faixa de linha de base de intensidades de pixel e/ou que são diferentes das intensidades de pixel que são associadas com superfície contrastada em cor 23, o que pode ser indicativo de um contraste entre a fratura 30 no espécime de teste 22 e a superfície 23 daquele espécime. No exemplo acima, o programa de processamento de imagem pode ser configurado para detectar: a) intensidades de pixel entre os pixels vermelhos que são diferentes da faixa de 0-12 das intensidades de pixel (ou que estão fora da faixa de linha de base de 0-12); b) intensidades de pixel entre os pixels verdes que são diferentes da faixa de 150-200 de intensidades de pixel (ou que estão fora da faixa de linha de base de 150-200); e c) intensidades de pixel entre os pixels azuis que são diferentes na faixa de 1-7 de intensidades de pixel (ou que estão fora da faixa de linha de base de 1-7).

[0055] Em alguns exemplos o programa de processamento de imagem 36 pode ser configurado para detectar as intensidades de pixel que estão fora de uma faixa de linha de base de intensidades de pixel e/ou que são diferentes das intensidades de pixel que são associadas com superfície contrastadas em cor 23 por no mínimo uma margem seleccionada para uma ou mais das cores primárias. A margem pré-seleccionada pode ser qualquer margem adequada. Por exemplo, a margem pré-seleccionada pode ser um valor de intensidade constante tal como 25, 50 ou 100. Alternativamente, a margem pré-seleccionada pode ser baseada na faixa ou desvio padrão de intensidades de pixel para uma ou mais cores primárias. A margem pré-seleccionada pode ser, por exemplo, no mínimo metade da diferença entre as intensidades de pixel máxima e mínima. No exemplo acima, as margens pré-seleccionadas podem

ser como a seguir: vermelho = 6, verde = 25, azul = 4. O programa de processamento de imagem 36 pode ser configurado para detectar intensidades de pixel que são no mínimo o valor de intensidade máximo da faixa de linha de base mais (ou menos) a margem seleccionada. No exemplo acima, o programa de processamento de imagem pode ser configurado para detectar intensidades de pixel vermelho que são 18 ou mais alto (12+6), intensidades de pixel verde que são 225 ou mais alto (200 + 25) ou 125 ou mais baixa (150 - 25) e/ou intensidades de pixel azul que são 11 ou mais altas (7 + 4).

[0056] Em alguns exemplos a margem pré-seleccionada pode ser baseada em uma superfície altamente contrastada 23 em relação ao fundo. Por exemplo, a margem pré-seleccionada pode ser no mínimo três desvios padrão para cada intensidade RGB, respectivamente, como encontrado na porção representativa do espécime de teste.

[0057] A figura 12 mostra uma matriz ilustrativa 66 que pode ser gerada por programa de processamento de imagem 36 com base em processamento realizado nas figuras 6-11. A matriz pode incluir uma pluralidade de valores resultado 68. Em alguns exemplos cada valor resultado 68 pode representar um pixel 62. Os valores resultados podem indicar se o programa de processamento de imagem detectou a superfície 23 ou detectou fratura 30. Por exemplo, valores resultado podem ser um "0" que indica que a superfície 23 foi detectada ou um "1" que indica que a fatura 30 foi detectada. Em alguns exemplos o programa de processamento de imagem 36 pode designar um "0" para um pixel de porção de análise 40 se a intensidade daquele pixel está dentro da faixa de linha de base de intensidades de pixel (ou está dentro da faixa de linha de base mais uma margem pré-seleccionada de intensidades de pixel) e/ou é a mesma que as intensidades de pixel associadas com a superfície 23. Em contraste, o programa de processamento de imagem 36 pode designar um "1" para um pixel de porção de análise 40 se a intensidade daquele pixel está fora da faixa de linha de base de intensidades

de pixel (ou está fora da faixa de linha de base de intensidades de pixel por no mínimo uma margem pré-selecionada) e/ou é diferente das intensidades de pixel associadas com a superfície 23.

[0058] Em alguns exemplos o programa de processamento de imagem 36 pode calcular comprimento de fratura L com base na coluna ou fileira de pixel mais longa com um valor resultado de “1”. A coluna ou fileira mais longa de “1”s pode incluir um ou mais zeros, particularmente se a fratura não é linear como mostrado na figura 4. Por exemplo, o programa de processamento de imagem pode identificar a coluna ou fileira mais longa de pixels com um valor resultado de “1”, contar o número de pixels naquela coluna ou fileira, e então converter o número de pixels para uma medição de comprimento de fratura com base na conversão de pixels por comprimento. A conversão de pixels por comprimento pode ser baseada em uma dimensão característica em uma ou mais imagens fotográficas. Por exemplo, se a imagem fotográfica mostra apenas toda a largura do espécime sem mostrar o fundo, então a conversão de pixel por comprimento é baseada na largura do espécime e no número de pixels através daquela largura.

[0059] Em alguns exemplos o programa de processamento de imagem 36 pode calcular comprimento de fratura L para uma ou mais imagens fotográficas e pode associar uma carga de tensão para cada comprimento de fratura calculado. O comprimento de fratura calculado e a carga associada podem ser utilizados por meio do programa de processamento de imagem para calcular uma ou mais características de material, tal como uma taxa de liberação de energia de deformação. Por exemplo, o programa de processamento de imagem pode calcular taxa de liberação de energia de deformação utilizando a equação abaixo.

$$\text{Equação 1: } G := [\partial U / \partial A]_p = - [\partial U / \partial A]_u$$

aqui G é a taxa de liberação de energia de deformação, U é a energia elástica do sistema, A é a área de fratura (igual a comprimento de

fratura multiplicado pela espessura), P é a carga e u é deslocamento. O programa de processamento de imagem pode calcular taxas de liberação de energia de deformação utilizando outras equações tal como as equações fornecidas na ASTM International D 5045-99 (Reaprovada em 2007): *Standard Test Methods for Plane-Strain Fracture Toughness and Strain Energy Release Rate of Plastic Materials*, de junho de 2007, 9 páginas.

[0060] Embora o programa de processamento de imagem 39 esteja mostrado para determinar o comprimento de fratura com base em intensidades de pixel, o programa de processamento de imagem pode, adicionalmente ou alternativamente, determinar comprimento de fratura com base em detectar e comparar nuance, luminosidade, saturação e/ou outras características de pixel. Por exemplo, o programa de processamento de imagem pode determinar a nuance (ou o valor de nuance) para cada pixel na porção representativa, e determinar se existem pixels na porção de análise com nuances fora de uma faixa de linha de base e/ou se são diferentes de nuances associados com a porção representativa, o que pode ser indicativo de um contraste entre uma fratura e a espécime de teste.

Exemplo 3

[0061] Este exemplo descreve um método para detectar propagação de fratura em espécime de material de teste, ver figura 13.

[0062] A figura 13 delinea diversas etapas de um método que pode ser realizado em conjunto com o sistema de propagação de fratura 20 de acordo com aspectos da presente descrição. Embora diversas etapas do método 100 estejam descritas abaixo e delineadas na figura 13, as etapas não precisam necessariamente serem todas realizadas, em alguns casos podem ser realizadas em uma ordem diferente do que a ordem mostrada.

[0063] O método 100 pode incluir uma etapa 102 de contrastar em cor uma superfície de um espécime de teste. Contrastar em cor a superfície pode incluir aplicar um revestimento de contraste de cor à superfície do espécime

de teste, tal como tinta de pulverização, pintar com pulverização a superfície. Em alguns exemplos o revestimento pode apresentar uma cor altamente contrastante em relação à cor da superfície do fundo. Quando a espécime de teste inclui duas ou mais camadas, contrastar em cor a superfície pode incluir fornecer uma camada de topo de contraste em cor. Alternativamente ou adicionalmente, contrastar em cor a superfície pode incluir selecionar uma cor de superfície de um fundo, cuja cor contrasta com a superfície do espécime de teste. Quando o espécime de teste é um espécime de teste de material compósito, o contraste em cor pode ser realizado sobre uma superfície daquele espécime.

[0064] O método 100 pode incluir uma etapa 104 de suportar a espécime de teste sobre um fundo ou área de fundo. Na etapa 104 a espécime de teste pode ser suportada tal que a cor da superfície do fundo pode ser visível através de uma fratura no espécime de teste.

[0065] O método 100 pode incluir uma etapa 106 de aplicar uma carga de tensão ao espécime de teste. Quando conjuntos suportes são utilizados para ligar a porções do espécime de teste, a etapa 106 pode incluir mover um ou mais dos mesmos conjuntos suportes separados, juntos e/ou em torção, para aplicar a carga de tensão. Alternativamente, os conjuntos suportes podem suportar a espécime de teste no lugar enquanto uma carga de tensão a partir de outro componente de uma plataforma de teste é aplicado. A carga de tensão aplicada pode, por exemplo, ser uma força constante ou variável e/ou ser um deslocamento constante ou variável do espécime de teste. Na etapa 108 imagens fotográficas do espécime de teste podem ser adquiridas antes, durante e/ou depois da aplicação da carga de teste.

[0066] O método 100 pode incluir uma etapa 110 de processar as imagens fotográficas. Na etapa 110 uma ou mais das imagens fotográficas pode ser processada para determinar uma faixa de linha de base de características de pixel e/ou características de pixel associadas com a

superfície do espécime de teste. Na etapa 110 as imagens fotográficas podem ser processadas para detectar características de pixel que estão fora de uma faixa de linha de base de características de pixel e/ou que são diferentes de características de pixel associadas com a cor da superfície do espécime de teste, o que pode ser indicativo de um contraste entre uma fratura no espécime de teste e a superfície daquele espécime. Em alguns exemplos as imagens fotográficas podem ser processadas para detectar características de pixel que estão fora de uma faixa de linha de base de características de pixel por uma margem pré-selecionada, tal como no mínimo metade da diferença entre os valores de característica de pixel máximo e mínimo ou três desvios padrão. As características de pixel podem, por exemplo, incluir intensidade, nuance, luminosidade e/ou saturação.

[0067] O método 100 pode incluir uma etapa 112 de gerar saída. Na etapa 112 a saída pode incluir comprimentos de fratura medidos e/ou cargas de tensão associadas com aqueles comprimentos. Alternativamente ou adicionalmente, a saída pode incluir uma taxa de liberação de energia de deformação com base em mudanças de comprimento de fratura detectadas com o tempo e/ou propagação do comprimento de fratura.

Exemplo 4

[0068] Este exemplo descreve um sistema de processamento de dados 900 de acordo com aspectos da presente descrição. Neste exemplo o sistema de processamento de dados 900 é um sistema de processamento de dados ilustrativo para implementar no computador 34 de sistema de detecção de propagação de fratura 20 na figura 1, ver figura 14.

[0069] Neste exemplo ilustrativo o sistema de processamento de dados 900 inclui estrutura de comunicações 902. A estrutura de comunicações 902 fornece comunicações entre a unidade processadora 904, memória 906, armazenagem persistente 908, unidade de comunicações 910, unidade de entrada/saída (I/O) 912 e mostrador 914. A memória 906, a armazenagem

persistente 908, a unidade de comunicações 910, a unidade de entrada/saída (I/O) 912 e o mostrador 914, são exemplos de recursos acessíveis pela unidade processadora 904 por meio da estrutura de comunicações 902.

[0070] A unidade processadora 904 serve para operar instruções para software que pode ser carregado na memória 906, tal como instruções para processar uma pluralidade de imagens fotográficas para determinar características de pixel. A unidade processadora 904 pode ser um número de processadores, um núcleo multiprocessador, ou algum outro tipo de processador que depende da implementação específica. Além disto, a unidade processadora 904 pode ser implementada utilizando um número de sistemas processadores homogêneos, nos quais um processador principal está presente com processadores secundários em um único chip. Como outro exemplo ilustrativo, a unidade processadora 904 pode ser um sistema multiprocessador simétrico que contém diversos processadores do mesmo tipo.

[0071] A memória 906 e a armazenagem persistente 908 são exemplos de dispositivos de armazenagem 916. Um dispositivo de armazenagem é qualquer peça de hardware que é capaz de armazenar informação tal como, por exemplo, sem limitação, dados código de programa em forma funcional e outra informação adequada, seja em uma base temporária ou uma base permanente. Por exemplo, dispositivos de armazenagem 916 podem armazenar dados de medição de fratura obtidos a partir do processamento das imagens fotográficas.

[0072] Dispositivos de armazenagem 916 também podem ser referidos como dispositivos de armazenagem legíveis por computador nestes exemplos. A memória 906 nestes exemplos pode ser, por exemplo, uma memória de acesso aleatório ou qualquer outro dispositivo de armazenagem adequado, volátil ou não volátil. A armazenagem persistente 908 pode assumir várias formas dependendo da instrumentação particular.

[0073] Por exemplo, a armazenagem persistente 908 pode conter um

ou mais componentes ou dispositivos. Por exemplo, a armazenagem persistente 908 pode ser um disco rígido, uma memória rápida, um disco, óptico que pode ser reescrito, uma fita magnética que pode ser reescrita, ou alguma combinação do acima. Os meios utilizados pela armazenagem persistente 908 podem também ser removíveis. Por exemplo, um disco rígido removível pode ser utilizado para a armazenagem persistente 908.

[0074] A unidade de comunicações 910 nestes exemplos fornece comunicações com outros sistemas ou dispositivos de processamento de dados. Nestes exemplos a unidade de comunicações 910 é um cartão de interface de rede. A unidade de comunicações 910 pode fornecer comunicações através da utilização de qualquer ou de ambos seus enlaces de comunicações físico e sem fio. Por exemplo, a unidade de comunicações 910 pode fornecer comunicações com a plataforma de teste 24 e/ou câmara 32.

[0075] A unidade de entrada/saída (I/O) 912 permite entrada e saída de dados com outros dispositivos que podem ser conectados ao sistema de processamento de dados 900. Por exemplo, a unidade de entrada/saída (I/O) 912 pode fornecer uma conexão para entrada de usuário através de um teclado, um mouse e/ou algum outro dispositivo de entrada adequado. Além disto, a unidade de entrada/saída (I/O) 912 pode enviar saída para uma impressora. O mostrador 914 fornece um mecanismo para apresentar informação para um usuário, tal como informação relativa a taxas calculadas de liberação de energia de deformação.

[0076] As instruções para o sistema operacional aplicativos e/ou programas podem ser localizadas em dispositivos de armazenagem 916 que estão em comunicação com a unidade processadora 904 através da estrutura de comunicações 902. Nestes exemplos ilustrativos, as instruções estão em uma forma funcional ou em armazenagem persistente 908. Estas instruções podem ser carregadas na memória 906 para execução por meio da unidade processadora 904. Os processos dos sistemas e métodos para detectar o

desenvolvimento de fratura podem ser realizados por meio da unidade processadora 904 utilizando instruções implementadas por computador, que podem estar localizadas em uma memória tal como a memória 906. As instruções implementadas por computador podem, por exemplo, incluir instruções para processar imagens fotográficas e gerar saída a partir daquele processamento.

[0077] Estas instruções são referidas como instruções de programa, código de programa, código de programa utilizável por computador, ou código de programa legível por computador, as quais podem ser lidas e executadas por um processador na unidade processadora 904. O código de programa nas diferentes modalidades pode ser configurado em diferentes meios de armazenagem legíveis por computador, ou físicos, tal como memória 906, ou armazenagem persistente 908.

[0078] O código de programa 918, tal como o programa de processamento de imagem 36, é localizado em uma forma funcional em meio legível por computador 920 que é seletivamente removível e pode ser carregado no ou transferido para o sistema de processamento de dados 900, para execução por meio da unidade processadora 904. O código de programa 908 e meios legíveis por computador 920 formam o produto programa de computador 922 nestes exemplos. Em um exemplo, meios legíveis por computador 920 podem ser meios de armazenagem legíveis por computador 924 ou meios de sinal legíveis por computador 926.

[0079] Meios de armazenagem legíveis por computador 924 podem incluir, por exemplo, um disco óptico ou magnético que é inserido ou colocado em um drive ou outro dispositivo que faz parte de armazenagem persistente 908, para transferir sobre um dispositivo de armazenagem tal como um disco rígido que é parte da armazenagem persistente 908. Meios de armazenagem legíveis por computador 924 também podem assumir a forma de uma armazenagem persistente tal como um disco rígido, um acionamento,

um *pen-drive*, uma memória rápida que é conectada ao sistema de processamento de dados 900. Em alguns casos, meios de armazenagem legíveis por computador 924 podem não ser removíveis do sistema de processamento de dados 900. Por exemplo, o programa de processamento de imagem 36 pode ser armazenado em meios de armazenagem legíveis por computador que não são removíveis do computador 34.

[0080] Nestes exemplos, meios de armazenagem legíveis por computador 924 são um dispositivo de armazenagem tangível ou físico, utilizado para armazenar código de programa 918 tal como o programa de processamento de imagem 38 ao invés de um meio que propaga ou transmite código de programa 918. Meios de armazenagem legíveis por computador 924 são também referidos como um dispositivo de armazenagem tangível legível por computador ou um dispositivo de armazenagem físico legível por computador. Em outras palavras, meios de armazenagem legíveis por computador 924 são meios que podem ser tocados por uma pessoa.

[0081] Alternativamente, o código de programa 918 pode ser transferido para sistema de processamento de dados 900 utilizando meios de sinal legíveis por computador 926. Meios de sinal legíveis por computador 926 podem ser, por exemplo, um código de programa que contém sinal de dados propagados 918. Por exemplo, meios de sinal legíveis por computador 926 podem ser um sinal eletromagnético, um sinal óptico e/ou qualquer outro tipo adequado de sinal. Estes sinais podem ser transmitidos sobre enlaces de comunicações tais como enlaces de comunicações sem fio, cabo de fibra óptica, cabo coaxial, um fio, e/ou qualquer outro tipo adequado de enlace de comunicações. Em outras palavras, o enlace de comunicações e/ou a conexão pode ser físico ou sem fio nos exemplos ilustrativos.

[0082] Em algumas modalidades ilustrativas o código de programa 918, tal como o programa de processamento de imagem 36, pode ser descarregado sobre uma rede para armazenagem persistente 908 a partir de

outro dispositivo ou sistema de meios de sinal legíveis por computador 926 para utilização dentro do sistema de processamento de dados 900, tal como o computador 34. Por exemplo, o código de programa armazenado em um meio de armazenagem legível por computador em um sistema de processamento de dados servidor, pode ser descarregado sobre uma rede a partir do servidor para o sistema de processamento de dados 900. O sistema de processamento de dados que fornece o código de programa 918 pode ser um computador servidor, um computador cliente, ou algum outro dispositivo capaz de armazenar e transmitir o código de programa 918.

[0083] Os diferentes componentes ilustrados para o sistema de processamento de dados 900 não querem significar fornecer limitações arquiteturais à maneira na qual diferentes modalidades dos sistemas e métodos para detectar desenvolvimento de fratura podem ser implementadas. As diferentes modalidades ilustrativas podem ser implementadas em um sistema de processamento de dados que inclui componentes em adição a e/ou no lugar daqueles ilustrados para o sistema de processamento de dados 900. Outros componentes mostrados na figura 14 podem ser variados a partir dos exemplos ilustrativos mostrados. As diferentes modalidades podem ser implementadas utilizando qualquer dispositivo ou sistema de hardware capaz de operar código de programa, tal como o programa de processamento de imagem 36. Como um exemplo, o sistema de processamento de dados 900 pode incluir componentes orgânicos integrados com componentes inorgânicos e/ou pode ser constituído inteiramente de componentes orgânicos excluindo um ser humano. Por exemplo, um dispositivo de armazenagem pode ser constituído de um semicondutor orgânico.

[0084] Em outro exemplo ilustrativo a unidade processadora 904 pode assumir a forma de uma unidade de hardware que tem circuitos que são fabricados ou configurados para uma utilização específica, tal como detectar desenvolvimento de fratura. Este tipo de hardware pode realizar operações

sem necessitar que código de programa seja carregado em uma memória a partir de um dispositivo de armazenagem para ser configurada para realizar as operações.

[0085] Por exemplo, quando a unidade processadora 904 assume a forma de uma unidade de hardware, a unidade processadora 904 pode ser um sistema de circuito, um circuito integrado de aplicação específica (ASIC), um dispositivo lógico programável, ou um outro tipo adequado de hardware configurado para realizar um número de operações, tal como processar imagens fotográficas e gerar saída a partir daquele processamento. Com um dispositivo lógico programável, o dispositivo é configurado para realizar o número de operações. O dispositivo pode ser reconfigurado em um momento posterior, ou pode ser configurado de maneira permanente, para realizar o número de operações. Exemplos de dispositivos lógicos programáveis incluem, por exemplo, um sistema lógico programável, uma lógica de sistema programável, um sistema lógico programável de campo, um sistema de porteira programável de campo, e outros dispositivos de hardware adequados. Com este tipo de implementação o código de programa 918 pode ser omitido, uma vez que os processos para as diferentes modalidades são implementados em uma unidade de hardware.

[0086] Em ainda outro exemplo ilustrativo, a unidade processadora 904 pode ser implementada utilizando uma combinação de processadores encontrada em computadores e unidades de hardware. A unidade processadora 904 pode ter um número de unidades de hardware e um número de processadores que são configurados para operar o código de programa 918 tal como o programa de processamento de imagem 36. Com este exemplo delineado, alguns dos processos de detectar desenvolvimento de fratura podem ser implementados no número de unidades de hardware enquanto outros processos de detectar desenvolvimento de fratura podem ser implementados no número de processadores.

[0087] Em outro exemplo, um sistema de barramento pode ser utilizado para implementar estrutura de comunicações 902, e pode ser constituído de um ou mais barramentos, tal como um barramento de sistema ou um barramento de entrada/saída. Naturalmente o sistema de barramento pode ser implementado utilizando qualquer tipo de arquitetura adequada que forneça uma transferência de dados entre diferentes componentes ou dispositivos ligados ao sistema de barramento.

[0088] Adicionalmente, a unidade de comunicações 910 pode incluir um número de dispositivos que transmitem dados, recebem dados, ou ambos transmitem e recebem dados, tal como dados de características de pixel e dados de detecção de fratura. A unidade de comunicações 910 pode ser, por exemplo, um modem ou um adaptador de rede, dois adaptadores de rede, ou alguma combinação dos mesmos. Além disto, uma memória pode, por exemplo, a memória 906 ou um cache, tal como aquele encontrado em um cubo controlador de interface e memória que pode estar presente em estrutura de comunicações 902.

[0089] Os fluxogramas e diagramas de blocos descritos aqui ilustram a arquitetura, funcionalidade e operação de possíveis implementações de sistemas e métodos para detectar desenvolvimento de fratura de acordo com diversas modalidades ilustra ativas. Com relação a isto, cada bloco nos fluxogramas ou diagramas de blocos, pode representar um módulo, segmento ou porção de código que compreende uma ou mais instruções executáveis para implementar a função lógica específica ou funções especificadas. Também deveria ser observado que em algumas implementações alternativas as funções anotadas em um bloco podem ocorrer fora de ordem observada nos desenhos. Por exemplo, as funções de dois blocos mostrados em sucessão podem ser executadas substancialmente de maneira concorrente ou as funções dos blocos podem, algumas vezes, ser executadas na ordem inversa, dependendo da funcionalidade envolvida.

[0090] Em outros arranjos dos métodos e sistemas descritos aqui, exemplos adicionais são fornecidos de acordo com as seguintes cláusulas:

Cláusula 1. Um método de detectar propagação de fratura em um espécime de teste de material, inclui contrastar em cor uma superfície de um espécime de teste; adquirir uma pluralidade de imagens fotográficas do espécime durante a aplicação de uma carga de tensão; processar a pluralidade de imagens para detectar características de pixel que estão fora de uma faixa de linha de base de características de pixel indicativas de um contraste entre uma fratura no espécime de teste e a superfície contrastada em cor do espécime de teste; e gerar uma saída de uma taxa de liberação de energia de deformação com base em mudanças em comprimento de fratura detectadas com o tempo.

Cláusula 2. Método da cláusula 1, no qual contrastar em cor uma superfície de no mínimo um espécime de teste incluir aplicar um revestimento que contrasta em cor e a superfície do espécime de teste.

Cláusula 3, Método da cláusula 1, no qual contrastar em cor uma superfície de um espécime de teste inclui fornecer uma camada de topo que contrasta em cor.

Cláusula 4. Método da cláusula 1, que ainda inclui suportar a espécime de teste sobre um fundo, no qual contrastar em cor uma superfície de um espécime de teste inclui selecionar uma cor de superfície do fundo que contrasta em cor a superfície do espécime de teste.

Cláusula 5. Método da cláusula 1, que inclui processar no mínimo uma imagem da pluralidade de imagens para determinar uma faixa de linha de base de características de pixel.

Cláusula 6. Método da cláusula 5, no qual processar no mínimo uma imagem da pluralidade de imagens inclui processar uma porção da no mínimo uma imagem, a porção sendo representativa da cor da superfície do espécime de teste.

Cláusula 7. Método da cláusula 1, no qual adquirir uma pluralidade de imagens fotográficas do espécime inclui adquirir uma pluralidade de imagens fotográficas do espécime durante a aplicação de uma carga de tensão fornecida por deslocamento do espécime de teste em uma taxa constante.

Cláusula 8. Método da cláusula 1, que ainda inclui adquirir uma pluralidade de imagens fotográficas antes de aplicar a carga de tensão.

Cláusula 9. Método da cláusula 1, no qual processar a pluralidade de imagens para detectar características de pixels inclui processar a pluralidade de imagens para detectar intensidades de pixel.

Cláusula 10. Método da cláusula 9, no qual processar a pluralidade de imagens para detectar intensidades de pistas inclui processar a pluralidade de imagens para detectar intensidades de pixel que estão fora de uma faixa de linha de base de intensidades de pixel por uma margem pré-selecionada de no mínimo metade da diferença entre intensidades máxima e mínima de pixels para no mínimo uma cor primária.

Cláusula 11. Método da cláusula 1, no qual contrastar em cor uma superfície de um espécime de teste inclui contrastar em cor uma superfície de um espécime de teste de material compósito.

Cláusula 12. Sistema para detectar propagação de fratura em um espécime de material que inclui uma plataforma de teste configurada para suportar um espécime de material sobre um fundo, a espécime de material de teste tendo uma cor de superfície de topo que contrasta uma cor de superfície do fundo; uma câmera direcionada no sentido da plataforma de teste é configurada para adquirir uma pluralidade de imagens fotográficas de um espécime de teste localizada sobre a plataforma durante a aplicação de uma carga de tensão ao espécime de teste; e um programa de processamento de imagem que recebe a pluralidade de imagens fotográficas e que é configurado para detectar na pluralidade de imagens fotográficas características de pixel

que estão fora de uma faixa de linha de base de características de pixel e medir mudanças em um comprimento de fratura detectado com base nas características de pixel detectadas.

Cláusula 13. Sistema da cláusula 12, no qual a espécime de teste de material tem um revestimento de superfície de topo que é altamente contrastado em relação ao revestimento de superfície do fundo.

Cláusula 14. Sistema da cláusula 12, no qual o programa de processamento de imagem é ainda configurado para gerar uma saída de uma taxa de liberação de energia de deformação com base em propagação de comprimento de fratura.

Cláusula 15. Método de detectar a propagação de fratura em um espécime de teste de material, que inclui suportar um espécime de teste de material sobre um fundo, a espécime tendo uma cor de superfície de topo que contrasta com uma cor de superfície do fundo, adquirir diversas imagens fotográficas de um comprimento de fratura que se estende em um espécime durante a etapa de aplicar; e detectar características de pixel que são diferentes de características de pixel associadas com a cor da superfície de topo, para medir comprimento de fratura no espécime.

Cláusula 16. Método da cláusula 15, que ainda inclui gerar uma saída de uma taxa de liberação de energia de deformação com base em propagação do comprimento de fratura.

Cláusula 17. Método da cláusula 15, que ainda inclui aplicar um revestimento sobre a espécime de teste que apresenta uma cor que contrasta altamente em relação à cor da superfície do fundo.

Cláusula 18. Método da cláusula 15, que ainda inclui detectar características de pixel de uma porção de no mínimo uma imagem das diversas imagens fotográficas, a porção sendo representativa da cor da superfície de topo do espécime de teste.

Cláusula 19. Método da cláusula 18. que ainda inclui

determinar características de pixel associadas com a cor da superfície de topo a partir das características de pixel detectadas.

Cláusula 20. Método da cláusula 15, no qual detectar características de pixel inclui detectar intensidades de pixel que são diferentes de intensidades de pixel associadas com a cor da superfície de topo para medir comprimento de fratura no espécime.

[0091] As diferentes modalidades dos sistemas e métodos de detectar propagação de fratura em um espécime de teste de material descritas aqui, fornecem diversas vantagens sobre soluções conhecidas. Por exemplo, as modalidades ilustrativas do sistema e método de detectar a propagação de fratura descritas aqui permitem adquirir dados de deformação e propagação de fratura em uma taxa muito mais alta sobre soluções conhecidas. Adicionalmente, entre outros benefícios, a modalidade ilustrativa do sistema e método de detectar propagação de fratura descrita aqui permite determinação mais precisa de características de material de componentes e estruturas. Nenhum sistema ou dispositivo conhecido pode realizar estas funções, especificamente em um ambiente de teste de materiais. Assim, as modalidades ilustrativas descritas aqui são particularmente úteis para determinar características de material de componentes e estruturas, tal como para determinar se estes componentes e estruturas são adequados para utilização específica. Contudo, nem todas as modalidades descritas aqui fornecem as mesmas vantagens ou o mesmo grau de vantagem.

[0092] A descrição descrita acima pode abranger diversas invenções distintas, com utilidade independente. Embora cada uma das mesmas invenções tenha sido descrita em suas formas preferidas, suas modalidades específicas como descritas e ilustradas aqui, não devem ser consideradas em um sentido limitativo, uma vez que inúmeras variações são possíveis. O tema das invenções inclui todas as combinações e subcombinações inovadoras e não óbvias dos diversos elementos, aspectos, funções e/ou propriedades aqui

descritas. As reivindicações que seguem indicam de maneira particular certas combinações e subcombinações observadas como inovadoras, e não óbvias. Invenções configuradas em outras combinações e subcombinações de aspectos, funções, elementos, e/ou propriedades, podem ser reivindicadas em pedidos que reivindicam prioridade a partir deste ou de um pedido relacionado. Tais reivindicações se direcionadas a uma invenção diferente ou à mesma invenção, e se mais ampla, mais estreita, igual ou diferente em escopo das reivindicações originais, são também observadas como incluídas no tema das invenções da presente descrição.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para detectar propagação de fratura em um espécime de teste de material (22), caracterizado pelo fato de compreender:

contrastar em cor uma superfície (23) de um espécime de teste (22) com uma cor de superfície de um fundo (28);

suportar o espécime de teste (22) sobre o fundo (28);

adquirir uma pluralidade de imagens fotográficas do espécime (22) durante a aplicação de uma carga de tensão;

processar a pluralidade de imagens para detectar características de pixel que estão fora de uma faixa de linha de base de características de pixel indicativa de um contraste entre o fundo (28) revelado através de uma fratura (30) no espécime de teste (22) e a superfície contrastada em cor (23) do espécime de teste (22); e,

gerar uma saída de uma taxa de liberação de energia de deformação com base em mudanças em comprimento de fratura (L) detectadas com o tempo.

2. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de contrastar em cor uma superfície (23) de um espécime de teste (22) incluir aplicar um revestimento que contrasta em cor a superfície (23) do espécime de teste (22).

3. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de contrastar em cor uma superfície (23) do espécime de teste (22) incluir aplicar uma camada de topo que contrasta em cor.

4. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que contrastar em cor uma superfície (23) do espécime de teste (22) inclui selecionar uma cor de superfície do fundo (28) que contrasta em cor a superfície (23) do espécime de teste (22).

5. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de ainda compreender:

processar no mínimo uma imagem da pluralidade de imagens para determinar uma faixa de linha de base de características de pixel.

6. Método de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelo fato de processar no mínimo uma imagem da pluralidade de imagens incluir processar uma porção da no mínimo uma imagem, a porção sendo representativa da cor da superfície (23) do espécime de teste (22).

7. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de adquirir uma pluralidade de imagens fotográficas do espécime (22) incluir adquirir uma pluralidade de imagens fotográficas do espécime (22) durante a aplicação de uma carga de tensão fornecida por deslocar a espécime de teste (22) em uma taxa constante.

8. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de ainda compreender:

adquirir uma pluralidade de imagens fotográficas antes de aplicar a carga de tensão.

9. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de processar a pluralidade de imagens para detectar características de pixel incluir processar a pluralidade de imagens para detectar intensidades de pixels.

10. Método de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de processar a pluralidade de imagens para detectar intensidades de pixel incluir processar a pluralidade de imagens para detectar intensidades de pixel que estão fora de uma faixa de linha de base de intensidades de pixel por uma margem pré-selecionada de no mínimo metade da diferença entre as intensidades de pixel máxima e mínima para no mínimo uma cor primária.

11. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de contrastar em cor uma superfície (23) de um espécime de teste (22) incluir contrastar em cor uma superfície (23) de um espécime de teste (22) de material compósito.

12. Sistema para detectar propagação de fratura em um espécime de teste de material (22), caracterizado pelo fato de compreender:

uma plataforma de teste (24) configurada para suportar um espécime de teste de material (22) sobre um fundo (28), o fundo (28) tendo uma cor de superfície selecionada para prover um contraste de cor com uma superfície de topo do espécime de teste (22);

uma câmera (32) direcionada no sentido da plataforma de teste (24), configurada para adquirir uma pluralidade de imagens fotográficas do espécime de teste (22) localizada sobre a plataforma (24) durante a aplicação de uma carga de tensão ao espécime de teste (22); e,

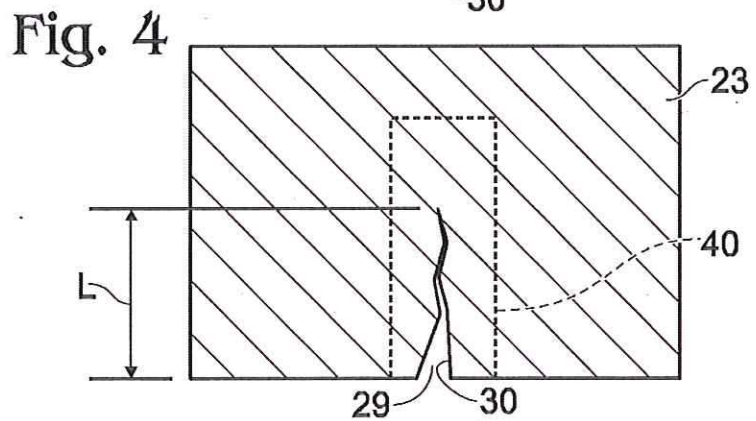
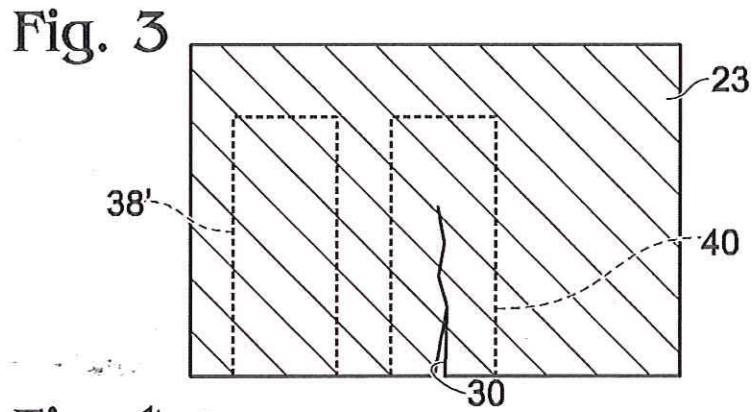
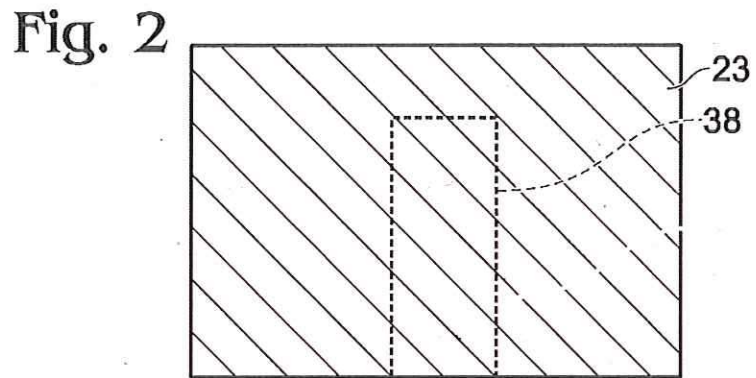
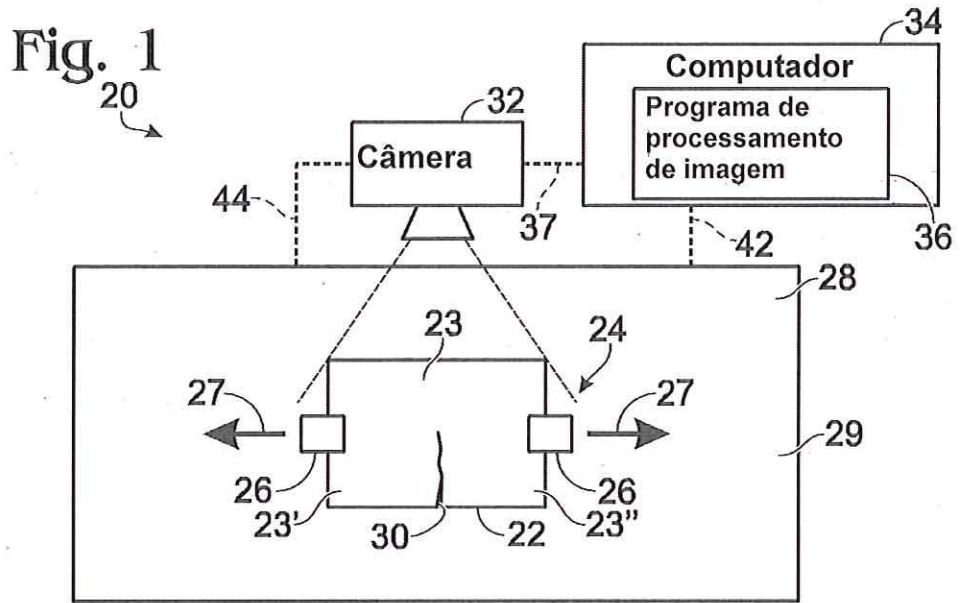
instruções de processamento de imagem (36) que recebem a pluralidade de imagens fotográficas e que são configuradas para:

detectar na pluralidade de imagens fotográficas, características de pixel do fundo (28) reveladas através de uma fratura no espécime de teste (22); e,

medir mudanças em um comprimento de fratura detectadas com base nas características de pixel detectadas.

13. Sistema de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de a espécime de teste de material (22) ter um revestimento de superfície de topo que é altamente contrastado em relação ao revestimento de superfície do fundo (28).

14. Sistema de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de as instruções de processamento de imagem serem ainda configuradas para gerar uma saída de uma taxa de liberação de energia de deformação com base em propagação de comprimento de fratura.



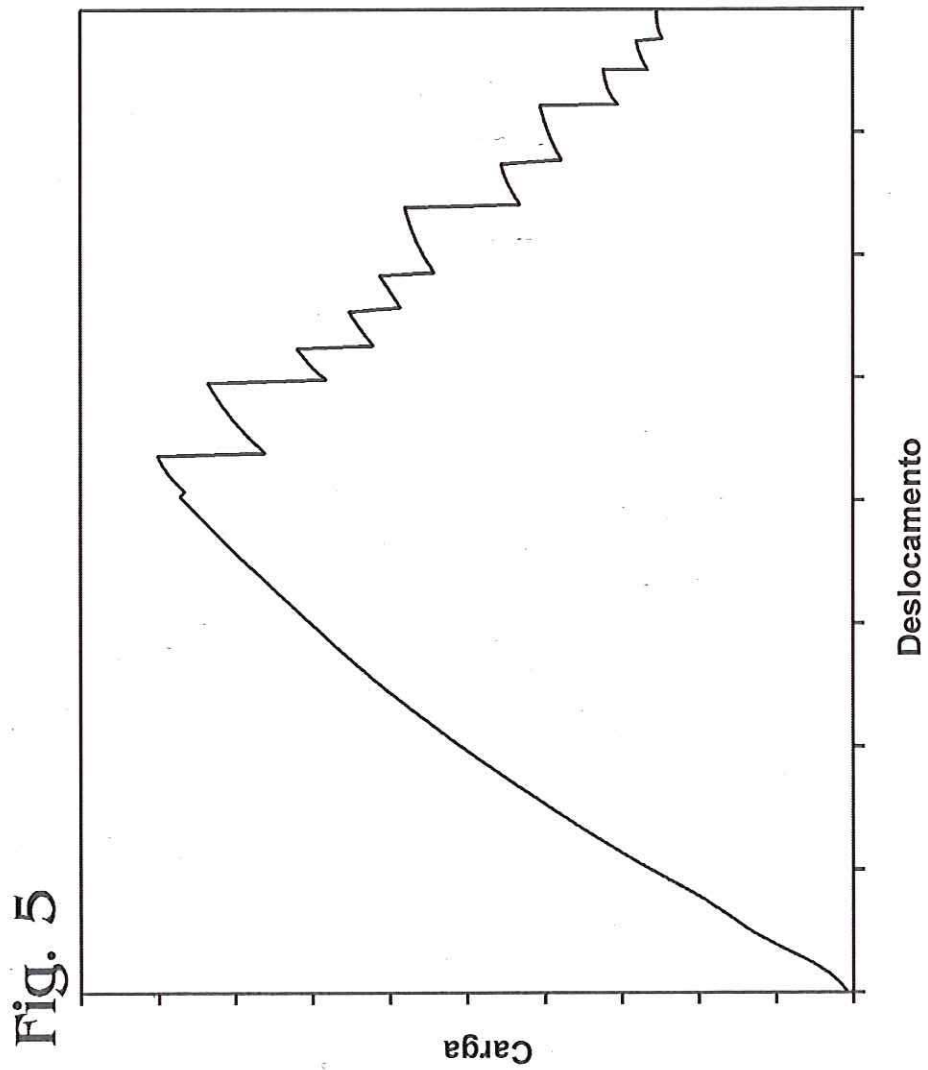
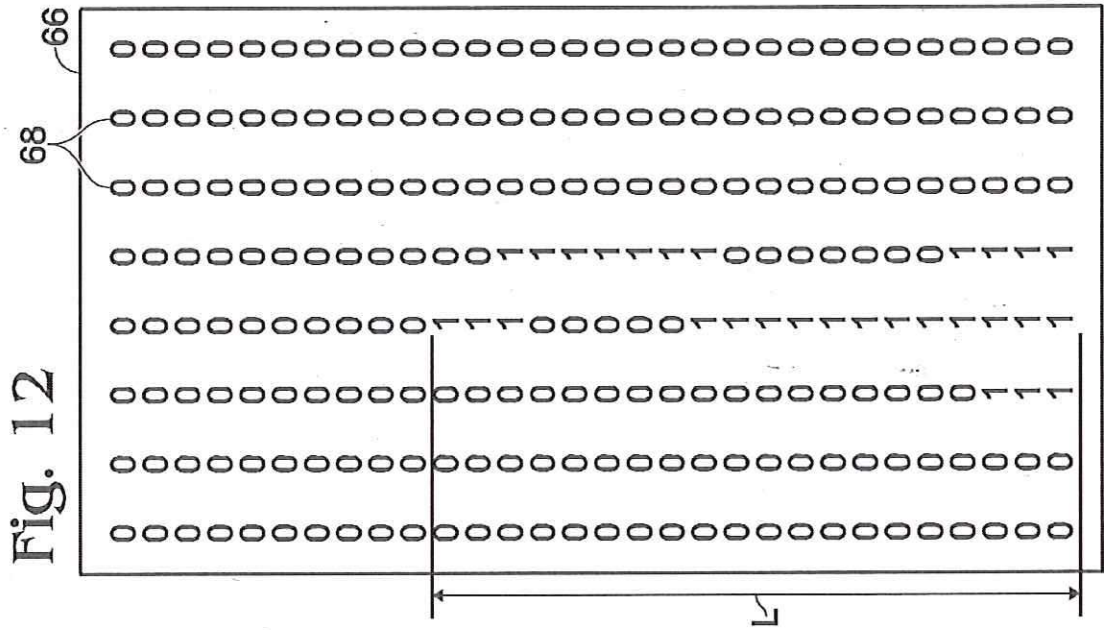


Fig. 6 Vermelho

| | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 12 | 8 | 6 | 4 | 0 | 5 | 12 | 10 |
| 2 | 10 | 5 | 10 | 9 | 11 | 5 | 9 |
| 1 | 11 | 8 | 1 | 3 | 5 | 8 | 11 |
| 10 | 2 | 3 | 11 | 2 | 12 | 9 | 6 |
| 11 | 5 | 12 | 4 | 10 | 9 | 4 | 4 |
| 0 | 9 | 5 | 10 | 7 | 1 | 10 | 0 |
| 9 | 1 | 2 | 6 | 11 | 3 | 4 | 4 |
| 10 | 7 | 0 | 7 | 0 | 4 | 12 | 2 |
| 5 | 6 | 1 | 9 | 5 | 10 | 9 | 1 |
| 2 | 12 | 8 | 0 | 6 | 8 | 5 | 8 |
| 5 | 4 | 3 | 10 | 2 | 11 | 3 | 0 |
| 0 | 7 | 11 | 7 | 12 | 6 | 1 | 3 |
| 8 | 2 | 9 | 10 | 6 | 9 | 8 | 7 |
| 3 | 10 | 0 | 2 | 8 | 1 | 11 | 9 |
| 1 | 5 | 2 | 11 | 0 | 3 | 4 | 2 |
| 9 | 0 | 12 | 6 | 4 | 2 | 11 | 3 |
| 12 | 6 | 4 | 8 | 9 | 12 | 5 | 0 |
| 4 | 10 | 3 | 1 | 2 | 7 | 8 | 4 |
| 11 | 2 | 12 | 6 | 7 | 4 | 10 | 1 |
| 8 | 11 | 5 | 10 | 0 | 9 | 3 | 7 |
| 9 | 7 | 1 | 4 | 10 | 1 | 0 | 5 |
| 0 | 3 | 7 | 6 | 8 | 4 | 2 | 3 |
| 8 | 1 | 2 | 1 | 1 | 7 | 8 | 12 |
| 3 | 7 | 11 | 5 | 2 | 11 | 11 | 7 |
| 10 | 5 | 12 | 9 | 10 | 12 | 5 | 9 |
| 7 | 11 | 8 | 3 | 0 | 3 | 8 | 6 |
| 12 | 5 | 9 | 7 | 12 | 7 | 1 | 0 |
| 2 | 0 | 1 | 12 | 8 | 11 | 4 | 0 |
| 4 | 3 | 7 | 2 | 7 | 4 | 5 | 1 |
| 10 | 12 | 3 | 6 | 8 | 6 | 9 | 3 |

50 →

48

46

Fig. 7 Verde

| | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 150 | 165 | 178 | 163 | 164 | 169 | 188 | 155 |
| 189 | 151 | 200 | 171 | 153 | 172 | 173 | 154 |
| 174 | 156 | 161 | 170 | 175 | 186 | 177 | 157 |
| 188 | 157 | 192 | 181 | 152 | 183 | 176 | 194 |
| 187 | 194 | 168 | 159 | 198 | 165 | 190 | 200 |
| 162 | 191 | 185 | 182 | 189 | 162 | 181 | 180 |
| 195 | 176 | 155 | 193 | 158 | 153 | 192 | 173 |
| 161 | 197 | 154 | 151 | 196 | 178 | 193 | 166 |
| 160 | 175 | 200 | 184 | 175 | 163 | 183 | 190 |
| 177 | 168 | 181 | 173 | 174 | 171 | 156 | 185 |
| 169 | 159 | 157 | 150 | 177 | 169 | 191 | 157 |
| 166 | 195 | 166 | 189 | 165 | 164 | 195 | 170 |
| 199 | 184 | 183 | 156 | 188 | 185 | 194 | 161 |
| 196 | 197 | 178 | 167 | 191 | 151 | 186 | 189 |
| 175 | 152 | 193 | 176 | 160 | 152 | 187 | 160 |
| 180 | 175 | 198 | 159 | 155 | 175 | 192 | 187 |
| 193 | 190 | 163 | 170 | 171 | 172 | 195 | 180 |
| 158 | 169 | 160 | 189 | 196 | 175 | 167 | 181 |
| 197 | 153 | 199 | 154 | 183 | 177 | 158 | 165 |
| 167 | 182 | 171 | 189 | 164 | 161 | 197 | 184 |
| 186 | 175 | 185 | 186 | 199 | 168 | 182 | 173 |
| 175 | 173 | 166 | 151 | 189 | 163 | 159 | 191 |
| 170 | 175 | 194 | 175 | 156 | 188 | 199 | 174 |
| 155 | 150 | 175 | 167 | 192 | 171 | 162 | 187 |
| 175 | 159 | 190 | 172 | 175 | 175 | 153 | 198 |
| 184 | 195 | 157 | 175 | 200 | 178 | 197 | 168 |
| 189 | 162 | 161 | 174 | 183 | 199 | 167 | 185 |
| 163 | 198 | 191 | 193 | 153 | 150 | 189 | 158 |
| 164 | 177 | 154 | 151 | 172 | 189 | 196 | 155 |
| 187 | 182 | 181 | 180 | 165 | 176 | 169 | 152 |

52 →

48

46

Fig. 8 Azul

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 4 | 2 | 7 | 6 | 5 | 3 |
| 6 | 4 | 3 | 5 | 1 | 4 | 2 | 7 |
| 2 | 5 | 1 | 4 | 6 | 3 | 6 | 2 |
| 4 | 3 | 2 | 7 | 5 | 7 | 1 | 6 |
| 5 | 7 | 6 | 3 | 4 | 1 | 4 | 2 |
| 3 | 7 | 2 | 4 | 1 | 5 | 6 | 3 |
| 7 | 1 | 4 | 3 | 6 | 4 | 2 | 7 |
| 6 | 5 | 2 | 7 | 3 | 1 | 4 | 4 |
| 2 | 7 | 3 | 1 | 2 | 5 | 5 | 6 |
| 4 | 6 | 5 | 2 | 6 | 3 | 7 | 1 |
| 5 | 1 | 7 | 4 | 7 | 2 | 6 | 3 |
| 3 | 6 | 1 | 5 | 2 | 3 | 5 | 4 |
| 4 | 1 | 7 | 3 | 6 | 5 | 4 | 2 |
| 1 | 3 | 6 | 2 | 5 | 7 | 6 | 1 |
| 5 | 4 | 2 | 4 | 1 | 6 | 3 | 7 |
| 4 | 6 | 7 | 3 | 5 | 1 | 7 | 2 |
| 2 | 5 | 7 | 6 | 1 | 4 | 3 | 4 |
| 4 | 7 | 1 | 5 | 4 | 2 | 5 | 6 |
| 1 | 2 | 4 | 6 | 3 | 5 | 7 | 3 |
| 5 | 1 | 3 | 2 | 7 | 6 | 1 | 4 |
| 7 | 6 | 2 | 5 | 3 | 1 | 4 | 2 |
| 3 | 5 | 7 | 1 | 4 | 6 | 2 | 4 |
| 4 | 2 | 1 | 6 | 3 | 5 | 7 | 5 |
| 6 | 5 | 3 | 4 | 1 | 7 | 2 | 7 |
| 4 | 3 | 6 | 2 | 7 | 5 | 6 | 1 |
| 1 | 7 | 4 | 5 | 3 | 2 | 3 | 6 |
| 4 | 1 | 2 | 6 | 3 | 5 | 7 | 4 |
| 3 | 2 | 3 | 7 | 1 | 6 | 5 | 1 |
| 4 | 5 | 3 | 1 | 6 | 2 | 4 | 7 |
| 1 | 4 | 2 | 3 | 5 | 6 | 1 | 7 |

54 →

48

46

Fig. 9 Vermelho

| | | | | | | | |
|----|----|-----|-----|-----|----|----|----|
| 12 | 8 | 6 | 4 | 0 | 5 | 12 | 10 |
| 2 | 10 | 5 | 10 | 9 | 11 | 5 | 9 |
| 1 | 11 | 8 | 1 | 3 | 5 | 8 | 11 |
| 10 | 2 | 3 | 11 | 2 | 12 | 9 | 6 |
| 11 | 5 | 12 | 4 | 10 | 9 | 4 | 4 |
| 0 | 9 | 5 | 10 | 7 | 1 | 10 | 0 |
| 9 | 1 | 2 | 6 | 11 | 3 | 4 | 4 |
| 10 | 7 | 0 | 7 | 0 | 4 | 12 | 2 |
| 5 | 6 | 1 | 9 | 5 | 10 | 9 | 1 |
| 2 | 12 | 8 | 0 | 6 | 8 | 5 | 8 |
| 5 | 4 | 3 | 255 | 2 | 11 | 3 | 0 |
| 0 | 7 | 11 | 251 | 12 | 6 | 1 | 3 |
| 8 | 2 | 9 | 250 | 255 | 9 | 8 | 7 |
| 3 | 10 | 0 | 2 | 253 | 1 | 11 | 9 |
| 1 | 5 | 2 | 11 | 251 | 3 | 4 | 2 |
| 9 | 0 | 12 | 6 | 253 | 2 | 11 | 3 |
| 12 | 6 | 4 | 8 | 255 | 12 | 5 | 0 |
| 4 | 10 | 3 | 1 | 255 | 7 | 8 | 4 |
| 11 | 2 | 12 | 253 | 250 | 4 | 10 | 1 |
| 8 | 11 | 5 | 255 | 0 | 9 | 3 | 7 |
| 9 | 7 | 1 | 252 | 10 | 1 | 0 | 5 |
| 0 | 3 | 7 | 251 | 8 | 4 | 2 | 3 |
| 8 | 1 | 2 | 253 | 1 | 7 | 8 | 12 |
| 3 | 7 | 11 | 250 | 2 | 11 | 11 | 7 |
| 10 | 5 | 12 | 252 | 10 | 12 | 5 | 9 |
| 7 | 11 | 8 | 253 | 0 | 3 | 8 | 6 |
| 12 | 5 | 9 | 250 | 254 | 7 | 1 | 0 |
| 2 | 0 | 251 | 251 | 250 | 11 | 4 | 0 |
| 4 | 3 | 253 | 250 | 254 | 4 | 5 | 1 |
| 10 | 12 | 250 | 251 | 253 | 6 | 9 | 3 |

56 →

64

62

Fig. 10 Verde

| | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 150 | 165 | 178 | 163 | 164 | 169 | 188 | 155 |
| 189 | 151 | 200 | 171 | 153 | 172 | 173 | 154 |
| 174 | 156 | 161 | 170 | 175 | 186 | 177 | 157 |
| 188 | 157 | 192 | 181 | 152 | 183 | 176 | 194 |
| 187 | 194 | 168 | 159 | 198 | 165 | 190 | 200 |
| 162 | 191 | 185 | 182 | 189 | 162 | 181 | 180 |
| 195 | 176 | 155 | 193 | 158 | 153 | 192 | 173 |
| 161 | 197 | 154 | 151 | 196 | 178 | 193 | 166 |
| 160 | 175 | 200 | 184 | 175 | 163 | 183 | 190 |
| 177 | 168 | 181 | 173 | 174 | 171 | 156 | 185 |
| 169 | 159 | 157 | 251 | 177 | 169 | 191 | 157 |
| 166 | 195 | 166 | 252 | 165 | 164 | 195 | 170 |
| 199 | 184 | 183 | 253 | 255 | 185 | 194 | 161 |
| 196 | 197 | 178 | 167 | 251 | 151 | 186 | 189 |
| 175 | 152 | 193 | 176 | 255 | 152 | 187 | 160 |
| 180 | 175 | 198 | 159 | 251 | 175 | 192 | 187 |
| 193 | 190 | 163 | 170 | 250 | 172 | 195 | 180 |
| 158 | 169 | 160 | 189 | 251 | 175 | 167 | 181 |
| 197 | 153 | 199 | 252 | 255 | 177 | 158 | 165 |
| 167 | 182 | 171 | 250 | 164 | 161 | 197 | 184 |
| 186 | 175 | 185 | 253 | 199 | 168 | 182 | 173 |
| 175 | 173 | 166 | 252 | 189 | 163 | 159 | 191 |
| 170 | 175 | 194 | 250 | 156 | 188 | 199 | 174 |
| 155 | 150 | 175 | 251 | 192 | 171 | 162 | 187 |
| 175 | 159 | 190 | 253 | 175 | 175 | 153 | 198 |
| 184 | 195 | 157 | 255 | 200 | 178 | 197 | 168 |
| 189 | 162 | 161 | 251 | 252 | 199 | 167 | 185 |
| 163 | 198 | 252 | 251 | 252 | 150 | 189 | 158 |
| 164 | 177 | 251 | 255 | 253 | 189 | 196 | 155 |
| 187 | 182 | 252 | 253 | 254 | 176 | 169 | 152 |

58 →

64

62

Fig. 11 Azul

| | | | | | | | |
|---|---|-----|-----|-----|---|---|---|
| 1 | 2 | 4 | 2 | 7 | 6 | 5 | 3 |
| 6 | 4 | 3 | 5 | 1 | 4 | 2 | 7 |
| 2 | 5 | 1 | 4 | 6 | 3 | 6 | 2 |
| 4 | 3 | 2 | 7 | 5 | 7 | 1 | 6 |
| 5 | 7 | 6 | 3 | 4 | 1 | 4 | 2 |
| 3 | 7 | 2 | 4 | 1 | 5 | 6 | 3 |
| 7 | 1 | 4 | 3 | 6 | 4 | 2 | 7 |
| 6 | 5 | 2 | 7 | 3 | 1 | 4 | 4 |
| 2 | 7 | 3 | 1 | 2 | 5 | 5 | 6 |
| 4 | 6 | 5 | 2 | 6 | 3 | 7 | 1 |
| 5 | 1 | 7 | 253 | 7 | 2 | 6 | 3 |
| 3 | 6 | 1 | 253 | 2 | 3 | 5 | 4 |
| 4 | 1 | 7 | 253 | 253 | 5 | 4 | 2 |
| 1 | 3 | 6 | 2 | 252 | 7 | 6 | 1 |
| 5 | 4 | 2 | 4 | 254 | 6 | 3 | 7 |
| 4 | 6 | 7 | 3 | 252 | 1 | 7 | 2 |
| 2 | 5 | 7 | 6 | 253 | 4 | 3 | 4 |
| 4 | 7 | 1 | 5 | 253 | 2 | 5 | 6 |
| 1 | 2 | 4 | 251 | 251 | 5 | 7 | 3 |
| 5 | 1 | 3 | 254 | 7 | 6 | 1 | 4 |
| 7 | 6 | 2 | 250 | 3 | 1 | 4 | 2 |
| 3 | 5 | 7 | 255 | 4 | 6 | 2 | 4 |
| 4 | 2 | 1 | 252 | 3 | 5 | 7 | 5 |
| 6 | 5 | 3 | 254 | 1 | 7 | 2 | 7 |
| 4 | 3 | 6 | 251 | 7 | 5 | 6 | 1 |
| 1 | 7 | 4 | 254 | 3 | 2 | 3 | 6 |
| 4 | 1 | 2 | 253 | 253 | 5 | 7 | 4 |
| 3 | 2 | 254 | 253 | 255 | 6 | 5 | 1 |
| 4 | 5 | 250 | 251 | 255 | 2 | 4 | 7 |
| 1 | 4 | 251 | 252 | 255 | 6 | 1 | 7 |

60 →

64

62

Fig. 13

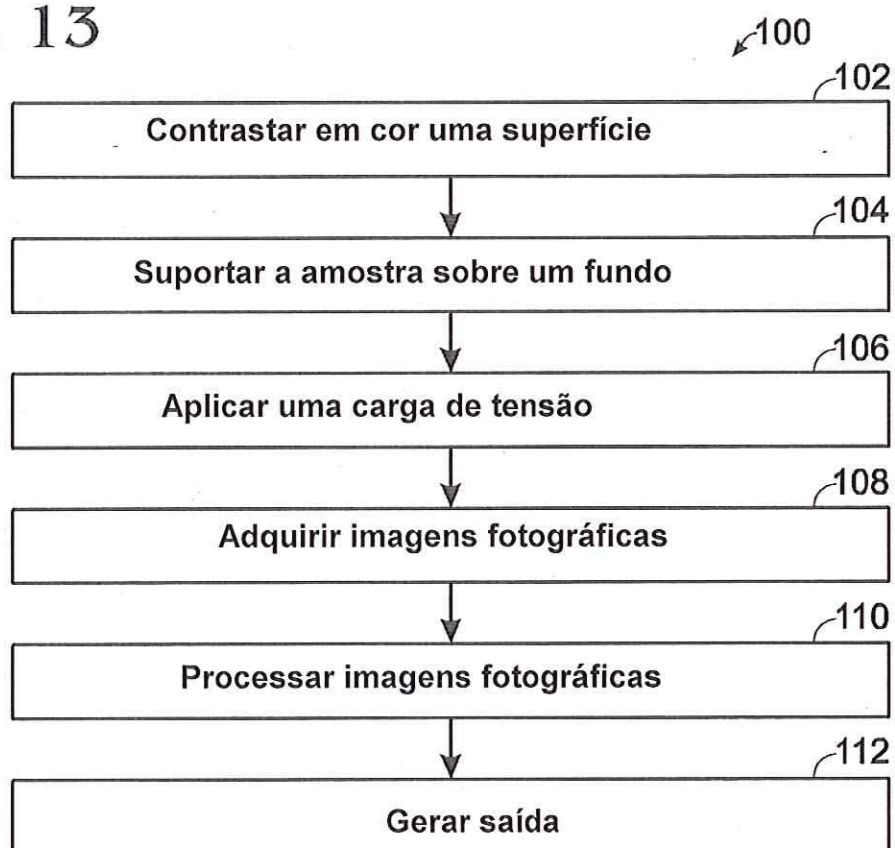


Fig. 14

