



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

(11) BR 102013005796-7 B1



(22) Data do Depósito: 11/03/2013

(45) Data de Concessão: 20/10/2020

(54) Título: MÉTODO E APARELHO PARA IDENTIFICAR DEFORMAÇÃO ESTRUTURAL

(51) Int.Cl.: G06N 5/04; G06N 99/00; G01M 5/00; G01B 21/32.

(52) CPC: G06N 5/047; G06N 99/005; G01M 5/0091; G01M 5/005; G01B 21/32.

(30) Prioridade Unionista: 12/03/2012 US 13/418,081.

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

(72) Inventor(es): JUSTIN D. KEARNS; MANNY SALAZAR URCIA JR.; CHRISTOPHER LEE DAVIS; CLARENCE L. GORDON III.

(57) Resumo: MÉTODO E APARELHO PARA IDENTIFICAR DE FORMAÇÃO ESTRUTURAL. A presente invenção refém-se a um método e aparelho para identificar deformação de uma estrutura (108). Os dados de deformação de treinamento (142) são identificados para cada caso de treinamento em uma pluralidade dos casos de treinamento (136). Os dados de tensão de treinamento (144) são identificados para cada caso de treinamento em uma pluralidade dos casos de treinamento (136). Os dados de deformação de treinamento (142) e os dados de tensão de treinamento (144) são configurados para uso por um modelo heurístico (104) para aumentar a exatidão dos dados de salda gerados pelo modelo heurístico (104). Um grupo de parâmetros (121) para o modelo heurístico (104) é ajustado utilizando-se os dados de deformação de treinamento (142) e os dados de tensão de treinamento (144) para cada caso de treinamento na pluralidade dos casos de treinamento (136) de modo que o modelo heurístico (104) seja treinado para gerar dados de deformação estimada (124) para a estrutura (106) com base nos dados de tensão de entrada (126). Os dados de deformação estimada (124) Um nível de exatidão desejado.

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para
**"MÉTODO E APARELHO PARA IDENTIFICAR DEFORMAÇÃO
ESTRUTURAL".**

Antecedentes

[0001] A presente invenção refere-se a uma deformação estrutural e, em particular, à identificação de deformação estrutural. Ainda mais particularmente, a presente divulgação se refere a um método e aparelho para identificar a deformação de uma estrutura utilizando dados de tensão medidos e um modelo heurístico.

[0002] Algumas estruturas associadas a uma plataforma passam por deformação durante a operação da plataforma. Conforme o uso aqui, a “deformação” de uma estrutura é qualquer mudança na forma da estrutura a partir de uma forma de referência para a estrutura. Tipicamente, uma estrutura associada a uma plataforma se deforma em resposta à aplicação de uma ou mais cargas na estrutura durante a operação da plataforma. A deformação da estrutura durante a operação da plataforma pode reduzir o desempenho da estrutura com relação a um nível desejado de desempenho.

[0003] Como exemplo ilustrativo, um sistema de antena associado a uma aeronave pode se deformar em resposta a diversas cargas e/ou a uma pressão aplicada(s) ao sistema de antena durante o voo da aeronave. A deformação do sistema de antena reduz o desempenho do sistema de antena. Em particular, a deformação do sistema de antena pode levar o sistema de antena a operar fora de tolerâncias escolhidas.

[0004] Em um exemplo ilustrativo, o sistema de antena pode ser um sistema de antena com arranjo em fase. A deformação desse tipo de sistema de antena pode afetar as capacidades de direcionamento do feixe eletrônico do sistema de antena mais do que o desejado. Por exemplo, o feixe formado pelo sistema de antena pode ser direcionado

em uma direção fora das tolerâncias selecionadas com relação a uma direção desejada para o feixe. Esse tipo de direcionamento pode ocorrer quando pelo menos uma parte do sistema de antena se deforma. A identificação da intensidade de deformação experimentada pelo sistema de antena pode ser usada para compensar eletronicamente essa deformação.

[0005] Alguns sistemas atualmente disponíveis para identificar a deformação de uma estrutura associada a uma plataforma incluem o uso de sistemas ópticos, sistemas de imagem, sistemas ópticos de fibra, sistemas mecânicos para medida coordenada (CMM), câmeras, e/ou outros tipos de dispositivos. Esses dispositivos diferentes são usados para identificar a deformação de uma estrutura associada a uma plataforma durante a operação da plataforma.

[0006] Entretanto, esses sistemas disponíveis atualmente podem não ser capazes de identificar a deformação da estrutura com um nível desejado de exatidão. Além disso, esses sistemas disponíveis atualmente para identificar a deformação de uma estrutura podem ser mais complexos, demorados, e/ou caros que o desejado. Portanto, seria desejável se ter um método e um aparelho que leva em conta uma ou mais das questões discutidas acima bem como possivelmente outras questões.

SUMÁRIO

[0007] Em uma modalidade ilustrativa, um método para identificar a deformação de uma estrutura é proporcionado. Dados relativos à deformação em treinamentos são identificados para cada caso de treinamento em uma pluralidade de casos de treinamento. Dados de tensão de treinamento são identificados para cada caso de treinamento na pluralidade de casos de treinamento. Os dados de deformação de treinamento e os dados relativos à tensão de treinamento são configurados por um modelo heurístico para aumentar

a exatidão dos dados de saída gerados pelo modelo heurístico. Um grupo de parâmetros para o modelo heurístico é ajustado utilizando-se os dados de deformação de treinamento e os dados de tensão de treinamento para cada caso de treinamento na pluralidade de casos de treinamento, de modo que o modelo heurístico é treinado para gerar os dados de deformação estimada para a estrutura com base nos dados de tensão de entrada. Os dados de deformação estimada têm um nível de exatidão desejado.

[0008] Em outra modalidade ilustrativa, um método para gerenciar o desempenho de uma estrutura é proporcionado. Os dados de deformação de treinamento e os dados de tensão de treinamento são identificados para a estrutura para cada caso de treinamento em uma pluralidade de casos de treinamento. Cada caso de treinamento é configurado para uso por um modelo heurístico para aumentar a exatidão dos dados de saída gerados pelo modelo heurístico. A estrutura é configurada para associação com uma plataforma. Um grupo de parâmetros para o modelo heurístico é ajustado utilizando-se os dados de deformação de treinamento e os dados de tensão de treinamento para cada caso de treinamento na pluralidade de casos de treinamento, de modo que o modelo heurístico é treinado para gerar dados de deformação estimada para a estrutura com base em dados de tensão de entrada. Os dados de deformação estimada têm um nível desejado de exatidão. Dados de tensão para a estrutura são gerados utilizando-se um sistema sensor associado à estrutura durante a operação da plataforma quando a estrutura estiver associada com a plataforma. Os dados de deformação estimada para a estrutura são gerados utilizando-se o modelo heurístico e os dados de tensão como dados de tensão de entrada para o modelo heurístico. Um grupo de parâmetros de controle para a estrutura é ajustado utilizando-se os dados de deformação estimada gerados pelo modelo heurístico, de

modo que a estrutura tem um nível desejado de desempenho durante a operação da plataforma.

[0009] Em mais outra modalidade ilustrativa, um aparelho compreende um modelo heurístico e um treinador. O modelo heurístico é configurado para gerar os dados de deformação estimada para uma estrutura com base nos dados de tensão de entrada. Os dados de deformação estimada têm um nível desejado de exatidão. O treinador é configurado para identificar os dados de deformação de treinamento e os dados de deformação de tensão para cada caso de treinamento em uma pluralidade de casos de treinamento. O treinador é configurado ainda para treinar o modelo heurístico utilizando os dados de deformação de treinamento e os dados de tensão de treinamento identificados para cada caso de treinamento na pluralidade de casos de treinamento, de modo que o modelo heurístico gera os dados de deformação estimada para a estrutura com um nível desejado de exatidão com base nos dados de tensão de entrada.

[00010] As características e funções podem ser conseguidas independentemente em várias modalidades da presente descrição ou podem ser combinadas em outras modalidades ainda nas quais outros detalhes podem ser vistos com referência à descrição e desenhos a seguir.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[00011] Os novos aspectos que se acreditam ser características das modalidades ilustrativas são mostrados nas reivindicações anexas. As modalidades ilustrativas, entretanto, bem como um modo de uso preferido, outros objetivos e aspectos das mesmas, serão melhor compreendidos com referência à descrição detalhada a seguir de uma modalidade ilustrativa da presente divulgação quando lida em conjunto com os desenhos anexos, em que:

A Figura 1 é uma ilustração de um diagrama de blocos de

um ambiente de treinamento de acordo com uma modalidade ilustrativa;

A Figura 2 é uma ilustração de um ambiente de treinamento de acordo com uma modalidade ilustrativa;

A Figura 3 é uma ilustração de uma pluralidade de sensores associados a uma antena com arranjo em fase de acordo com uma modalidade ilustrativa;

A Figura 4 é uma ilustração de uma tabela de dados de deformação estimada de acordo com uma modalidade ilustrativa;

A Figura 5 é uma ilustração de uma tabela de dados de deformação real de acordo com uma modalidade ilustrativa;

A Figura 6 é uma ilustração de uma tabela de diferenças entre medidas de deformação estimada e medidas de deformação real de acordo com uma modalidade ilustrativa;

A Figura 7 é uma ilustração de um fluxograma de um processo para gerenciar o desempenho de uma estrutura na forma de um fluxograma de acordo com uma modalidade ilustrativa;

A Figura 8 é uma ilustração de um fluxograma de um processo para treinar um modelo heurístico na forma de um fluxograma de acordo com uma modalidade ilustrativa;

A Figura 9 é uma ilustração de um fluxograma de um processo para treinar um modelo heurístico na forma de um fluxograma de acordo com uma modalidade ilustrativa;

A Figura 10 é uma ilustração de um fluxograma de um processo para identificar uma configuração de sensores para uso em uma estrutura na forma de um fluxograma de acordo com uma modalidade ilustrativa;

A Figura 11 é uma ilustração de uma comparação de gráficos para a relação de lóbulo lateral máxima de uma antena com arranjo em fase de acordo com uma modalidade ilustrativa;

A Figura 12 é uma ilustração de uma comparação de gráficos para uma redução no ganho de acordo com uma modalidade ilustrativa;

A Figura 13 é uma ilustração de uma comparação de gráficos para fase de acordo com uma modalidade ilustrativa;

A Figura 14 é uma ilustração de uma comparação de gráficos para um desvio de ângulo para direcionamento de feixe de acordo com uma modalidade ilustrativa; e

A Figura 15 é uma ilustração de um sistema de processamento de dados de acordo com uma modalidade ilustrativa.

DESCRIÇÃO DETALHADA

[00012] As diferentes modalidades ilustrativas reconhecem e levam em conta uma ou mais diferentes considerações. Por exemplo, as diferentes modalidades ilustradas reconhecem e levam em conta que alguns sistemas atualmente disponíveis para medir a deformação de uma estrutura podem não proporcionar um nível de exatidão desejado. Por exemplo, esses sistemas atualmente disponíveis podem não ser capazes de proporcionar o nível de exatidão necessário para compensar a deformação da estrutura.

[00013] Sistemas ópticos compreendendo dispositivos tais como, por exemplo, sistemas mecânicos para medida coordenada tridimensional, sistemas ópticos de fibra, câmeras, e/ou outros dispositivos adequados, podem não ser capazes de medir a deformação tridimensional de uma estrutura associada a uma aeronave, quando em voo, com um nível de exatidão desejado. As diferentes modalidades ilustrativas reconhecem e levam em conta que esses dispositivos podem não proporcionar o nível desejado de resolução espacial necessária para medir o formato deformado da estrutura com o nível de exatidão desejado.

[00014] As diferentes modalidades ilustrativas também reconhecem

que sistemas ópticos tendo câmeras requerem que essas câmeras estejam apontadas para a estrutura. Além disso, operar esses sistemas ópticos em determinadas condições ambientais pode ser mais difícil que o desejado. Por exemplo, operar esses sistemas ópticos em condições tais como chuva, temperaturas extremas, vento, neve, noite, baixos níveis de iluminação, fog, e/ou outras condições pode ser mais difícil que o desejado. Além disso, medir um formato tridimensional de uma estrutura utilizando um sistema óptico dotado de câmeras pode envolver o uso de múltiplas vistas. O uso de múltiplas vistas pode aumentar os recursos, esforços, e/ou tempo de processamento necessários para medir a forma tridimensional da estrutura.

[00015] As diferentes modalidades ilustrativas reconhecem e levam em conta que uma antena com arranjo em fase em uma aeronave pode ser deformada durante o voo da aeronave. As diferentes modalidades ilustrativas também reconhecem e levam em conta que pode ser desejável ter um sistema configurado para identificar a deformação da antena com arranjo em fase com o nível de exatidão necessário para direcionar por feixe eletronicamente uma antena com arranjo em fase para compensar a deformação da antena com arranjo em fase durante o voo da aeronave, dentro de tolerâncias selecionadas.

[00016] Além disso, as diferentes modalidades ilustrativas reconhecem e levam em consideração que pode ser desejável ter um sistema capaz de identificar a deformação da antena com arranjo em fase e direcionar eletronicamente por feixe a antena com arranjo em fase para compensar essa deformação em tempo substancialmente real. Dessa maneira, mudanças ou inconsistências indesejadas no desempenho da antena com arranjo em fase causadas por deformação da antena com arranjo em fase durante o voo da

aeronave podem ser reduzidas e, em alguns casos, evitadas.

[00017] Assim, as diferentes modalidades ilustrativas proporcionam um método e aparelho para gerenciar o desempenho de uma estrutura. Em uma modalidade ilustrativa, um método para identificar deformação de uma estrutura é proporcionado. Os dados de deformação em treinamento são identificados para cada caso de treinamento em uma pluralidade de casos de treinamento. Os dados de tensão em treinamento são identificados para cada caso de treinamento na pluralidade de casos de treinamento. Os dados de deformação em treinamento e os dados de tensão em treinamento são configurados para uso por um modelo heurístico para aumentar a exatidão dos dados de saída gerados pelo modelo heurístico. Um grupo de parâmetros para o modelo heurístico é ajustado utilizando-se os dados de deformação de treinamento e os dados de tensão de treinamento para cada caso de treinamento na pluralidade de casos de treinamento, de modo que o modelo heurístico é treinado para gerar dados de deformação estimada para a estrutura com base nos dados de tensão de entrada. Os dados de deformação estimada têm um nível de exatidão desejado.

[00018] Os dados de deformação estimada podem ser usados para ajustar um grupo de parâmetros de controle para a estrutura, de modo que a estrutura tem um nível de desempenho desejado durante a operação da plataforma. Em particular, os dados de deformação estimada podem ser usados para controlar a estrutura de maneira a compensar a deformação da estrutura durante a operação da plataforma.

[00019] Com referência agora às figuras, e, em particular com referência à Figura 1, uma ilustração de um ambiente de treinamento é mostrada de acordo com uma modalidade ilustrativa. Nesses exemplos ilustrativos, o ambiente de treinamento 100 inclui um

treinador 102. O treinador 102 é configurado para treinar o modelo heurístico 104 para identificar a deformação 106 da estrutura 108 associada à plataforma 110.

[00020] No presente contexto, quando um componente está “associado” a outro componente, essa associação é uma associação física nos exemplos mostrados. Por exemplo, um primeiro componente, tal como a estrutura 108, pode ser considerado como estando associado a um segundo componente, como uma plataforma 110, por estar preso ao segundo componente, colado ao segundo componente, montado no segundo componente, soldado ao segundo componente, fixado ao segundo componente, e/ou conectado ao segundo componente de alguma outra maneira adequada. O primeiro componente também pode estar conectado ao segundo componente utilizando-se um terceiro componente. O primeiro componente pode também ser considerado associado ao segundo componente por ser formado como parte do e/ou extensão do segundo componente.

[00021] Nesses exemplos ilustrativos, a plataforma 110 também pode ser, por exemplo, entre outras, uma aeronave, um helicóptero, um jato, um veículo aéreo não tripulado (UAV), um ônibus espacial, um automóvel, um foguete, um míssil, uma embarcação, um sistema de propulsão, um prédio, uma estrutura feita pelo homem, uma ponte, um satélite, ou algum outro tipo adequado de plataforma. A estrutura 108 associada à plataforma 110 pode ser, exemplo, entre outras, um sistema de imagem, um sistema de comunicação, um sistema de antena, um sistema de antena com arranjo em fase, uma asa, um painel de espuma, um cabo, uma haste, um feixe, ou algum outro tipo de estrutura adequada.

[00022] Em um exemplo ilustrativo, a plataforma 110 é uma aeronave, e a estrutura 108 é um sistema de antena com arranjo em fase. Nesse exemplo ilustrativo, a antena com arranjo em fase está

associada à aeronave, por ser integrada em uma ou mais estruturas da aeronave. Por exemplo, a antena com arranjo em fase pode estar integrada a uma asa, um estabilizador, um painel de espuma, ou uma porta da aeronave.

[00023] A deformação 106 da estrutura 108 é qualquer mudança no formato 112 da estrutura 108 a partir da referência 114 da estrutura 108. Em um exemplo ilustrativo, o formato de referência 114 é o formato da estrutura 108 sem quaisquer cargas ou pressão aplicadas na estrutura 108.

[00024] Quando uma ou mais cargas e/ou pressão é(são) aplicada(s) à estrutura 108, a estrutura 108 pode se deformar de tal maneira que a forma 112 da estrutura 108 muda de forma de referência 114 para forma deformada 116. As cargas e/ou pressão aplicada(s) na estrutura 108 pode(m) incluir, entre outras, cargas aerodinâmicas, rajadas, vibrações na estrutura 108, cargas estáticas, cargas aeroacústicas, cargas com base em temperatura, e/ou outros tipos adequados de cargas e/ou pressões.

[00025] A estrutura 108 pode se deformar durante a operação da plataforma 110. Quando a estrutura 108 tem a forma deformada 116, a estrutura 108 pode operar fora de tolerâncias selecionadas. Uma identificação da forma deformada 116 para a estrutura 108 pode ser usada para ajustar um grupo de parâmetros de controle 115 para a estrutura 108.

[00026] No presente contexto, um “grupo de” itens significa um ou mais itens. Por exemplo, um grupo de parâmetros de controle 115 significa um ou mais parâmetros de controle 115. O grupo de parâmetros de controle 115 pode ser ajustado para gerenciar o desempenho da estrutura 108 de modo que a estrutura 108 opere e desempenho dentro de determinadas tolerâncias. Nesses exemplos ilustrativos, “ajustar” um grupo de parâmetros, tal como um grupo de

parâmetros de controle 115 pode incluir mudar um, alguns, todos, ou nenhum dos parâmetros no grupo de parâmetros.

[00027] Como um exemplo ilustrativo, quando a plataforma 110 é uma aeronave e a estrutura 108 é um sistema de antena com arranjo em fase integrado na aeronave, o sistema de antena com arranjo em fase pode se deformar na forma deformada 116, enquanto a aeronave está no ar. Quando o sistema de antena com arranjo em fase tem a forma deformada 116, o sistema de antena com arranjo em fase pode operar fora de tolerâncias selecionadas.

[00028] Uma identificação da forma deformada 116 pode ser usada para ajustar uma fase e/ou amplitude do sistema de antena com arranjo em fase para direcionar eletronicamente um feixe formado pelo sistema de antena com arranjo em fase para compensar a deformação 106, enquanto a plataforma 110 está no ar. Quando a deformação 106 é eletronicamente compensada desta maneira, o sistema de antena com arranjo em fase opera dentro de tolerâncias selecionadas durante o voo mesmo quando o sistema de antena com arranjo em fase tem a forma deformada 116.

[00029] O modelo heurístico 104 pode ser treinado para identificar a deformação 106 da estrutura 108, identificando assim a forma deformada 116 da estrutura 108. Nesses exemplos ilustrativos, identificar a deformação 106 da estrutura 108 pode compreender estimar a deformação 106 da estrutura 108 com um nível de exatidão desejado. Dessa maneira, a forma deformada 116 da estrutura 108 pode ser estimada com um nível desejado de exatidão.

[00030] No presente contexto, um “modelo heurístico”, tal como um modelo heurístico 104, pode ser qualquer modelo matemático ou de computação configurado para aprender, adaptar, tomar decisões, encontrar padrões nos dados, e/ou processar informação de alguma outra maneira adequada para gerar dados de saída 118 em resposta

ao recebimento de dados de entrada 120.

[00031] O modelo heurístico 104 pode compreender qualquer número de algoritmos de aprendizagem, modelos para tomada de decisões, modelos para resolução de problemas, algoritmos de computação, e/ou outros tipos de processos. Nesses exemplos ilustrativos, o modelo heurístico 104 compreende pelo menos um dentre uma rede neural, um algoritmo com base em aprendizagem, um modelo de regressão, uma máquina de vetor de suporte, um modelo de ajuste de dados, um modelo de reconhecimento de padrão, inteligência artificial (AI) e algum outro tipo adequado de algoritmo ou modelo.

[00032] Neste contexto, a expressão “pelo menos um dentre”, quando usada com uma lista de itens, significa que diferentes combinações de um ou mais dos itens listados podem ser usadas e apenas um de cada um dos itens da lista pode ser necessário. Por exemplo, “pelo menos dentre o item A, item B e item C” pode incluir, entre outros, o item A, ou item A e item B. Esse exemplo também pode incluir item A, item B e item C, ou item B e item C. Em outros exemplos, “pelo menos um dentre” pode ser, por exemplo, sem limitação, dois do item A, um do item B, e dez do item C; quatro do item B e sete do item C; e outras combinações adequadas.

[00033] Como mostrado nesses exemplos, o modelo heurístico 104 é configurado para gerar dados de saída 118 em resposta ao recebimento de dados de entrada 120 com base no grupo de parâmetros 121. O grupo de parâmetros 121 pode incluir, por exemplo, sem limitação, inclinações, pesos, coeficientes, relações, constantes, restrições, e/ou outros tipos adequados de parâmetros. Em um exemplo ilustrativo, o modelo heurístico 104 pode incluir uma equação que compreende tensões e pesos configurados para produzir dados de saída 118 em resposta ao recebimento dos dados de entrada 120.

[00034] Nesses exemplos ilustrativos, o treinador 102 está configurado para treinar o modelo heurístico 104 para estimar a deformação 106 da estrutura 108 com um nível desejado de exatidão. Estimar a deformação 106 da estrutura 108 com um nível de exatidão desejado significa estimar a deformação 106 de modo que uma diferença entre a deformação estimada da estrutura 108 e a deformação real da estrutura 108 está dentro de tolerâncias selecionadas.

[00035] O treinador 102 pode ser implementado utilizando-se hardware, software, ou uma combinação de ambos nesses exemplos. Por exemplo, o treinador 102 pode ser implementado no sistema de computador 122. O sistema de computador 122 compreende um número de computadores. Como usado, aqui, um “número” de itens significa um ou mais itens. Por exemplo, um número de computadores significa um ou mais computadores.

[00036] Quando mais de um computador está presente no sistema de computador 122, esses computadores estão em comunicação entre si. Os diferentes computadores no sistema de computador 122 podem estar localizados na plataforma 110, na estrutura 108 e/ou distante da plataforma 110.

[00037] Em um exemplo ilustrativo, o modelo heurístico 104 gera dados de saída 118 na forma de dados de deformação estimada 124 em resposta ao recebimento de dados de entrada 120 na forma de dados de tensão de entrada 126. Os dados de deformação estimada 124 definem a forma deformada estimada para a estrutura 108 com base nos dados de tensão de entrada 126.

[00038] No presente contexto, “dados de deformação”, tais como os dados de deformação estimada 124, compreendem uma pluralidade de medidas de deformação. Uma “pluralidade” de itens, conforme usado aqui, significa dois ou mais itens. Por exemplo, uma pluralidade

de medidas de deformação estimada, significa duas ou mais medidas de deformação estimadas.

[00039] Nesses exemplos ilustrados, uma medida de deformação é uma medida da deflexão de um ponto na estrutura 108 a partir do local do ponto em que a estrutura 108 tem uma forma de referência 114, até o local do ponto em que a estrutura 108 apresenta forma deformada 116. No presente contexto, a “deflexão” de um ponto na estrutura 108 é a distância entre o ponto em que a estrutura 108 tem a forma de referência 114 e o ponto em que a estrutura 108 tem a forma deformada 116. Essa deflexão do ponto também pode ser chamada de deslocamento do ponto.

[00040] Nesses exemplos ilustrativos, a medida da deflexão do ponto pode ser representada em unidades de comprimento. Unidades de comprimento incluem, por exemplo, sem limitação, polegadas, pés, centímetros, milímetros, e outros tipos de unidades de comprimento. Certamente, em outros exemplos ilustrativos, a medida da deflexão do ponto pode ser representada em unidades angulares. Unidades angulares incluem, por exemplo, entre outras, radianos, graus, e outros tipos de unidades angulares.

[00041] Além disso, no presente contexto, “dados de tensão”, tais como os dados de tensão de entrada 126, compreendem uma pluralidade de medidas de tensão. Uma medida de tensão é uma medida da deflexão de um ponto na estrutura 108 do local do ponto em que a estrutura 108 tem a forma de referência 114 até o local do ponto em que a estrutura 108 tem forma deformada 116, normalizada com relação a um comprimento de referência. Uma medida de tensão não tem quaisquer unidades e pode ser representada por uma percentagem, uma fração, ou uma indicação de partes por notação (ppn).

[00042] O modelo heurístico 104 pode receber dados de tensão de

entrada 126 em um número de maneiras diferentes. Como exemplo ilustrativo, os dados de tensão de entrada 126 podem ser recebidos como dados de tensão 128 gerados pelo sistema sensor 130. O sistema sensor 130 é associado à estrutura 108. Em alguns exemplos ilustrativos, uma porção do sistema sensor 130 pode estar associada à plataforma 110.

[00043] O sistema sensor 130 compreende uma pluralidade de sensores 132 configurados para gerar dados de tensão 128. Os dados de tensão 128 compreendem uma pluralidade de medidas de tensão geradas pela pluralidade de sensores 132, respectivamente. Um sensor na pluralidade de sensores 132 pode compreender pelo menos um dentre, por exemplo, um extensômetro, um sensor óptico de fibra, um sensor piezoelétrico, um transdutor, ou algum outro tipo adequado de sensor configurado para gerar medidas de tensão.

[00044] Em alguns exemplos ilustrativos, os dados de entrada 120 também podem incluir dados de entrada adicionais 133 além dos dados de tensão de entrada 126. Os dados de entrada adicionais 133 podem incluir quaisquer dados que possam afetar os dados de saída 118 gerados pelo modelo heurístico 104 com base nos dados de tensão de entrada 126. Em particular, dados adicionais de entrada 133 podem incluir quaisquer dados sobre condições que possam afetar a deformação 106 da estrutura 108 enquanto a plataforma 110 opera.

[00045] Por exemplo, dados de entrada adicionais 133 podem incluir dados ambientais tais como, por exemplo, medidas de condições ambientais que possam afetar a deformação 106 da estrutura 108 e/ou os dados de tensão 128. Esses dados ambientais podem incluir, por exemplo, dados de temperatura, dados de umidade, e/ou outros tipos adequados de dados. Em alguns casos, dados adicionais de entrada 133 podem incluir dados de uma unidade de medida inercial (IMU) presa na plataforma 110, dados de posição,

dados de altitude, dados de velocidade, dados de aceleração e/ou outros tipos adequados de dados.

[00046] Nesses exemplos ilustrativos, o treinador 102 treina o modelo heurístico 104 utilizando uma pluralidade dos casos de treinamento 136 selecionados para treinar o modelo heurístico 104. Nesse contexto, um “caso de treinamento”, tal como um caso de treinamento na pluralidade dos casos de treinamento 136 é um estado particular da estrutura 108 no qual dados sobre a estrutura 108, quando a estrutura 108 se encontra neste estado particular, são usados para treinar o modelo heurístico 104. O estado particular para a estrutura 108 pode ser, por exemplo, uma forma deformada particular para a estrutura 108. Entretanto, em alguns casos, o estado particular da estrutura 108 pode ser uma intensidade selecionada de carga e/ou pressão sendo aplicada na estrutura 108.

[00047] O treinador 102 identifica os dados de deformação de treinamento e os dados de tensão de treinamento para cada caso de treinamento na pluralidade dos casos de treinamento 136. O caso de treinamento 140 é um exemplo dentre uma pluralidade dos casos de treinamento 136. Além disso, o treinador 102 identifica dados de deformação de treinamento 142 e dados de tensão de treinamento 144 para o caso de treinamento 140.

[00048] O treinador 102 envia dados de deformação de treinamento 142 e dados de tensão de treinamento 144 para o modelo heurístico 104. O modelo heurístico 104 usa os dados de deformação de treinamento 142 e os dados de tensão de treinamento 144 para ajustar o grupo de parâmetros 121 para o modelo heurístico 104. O grupo de parâmetros 121 está ajustado de modo que o modelo heurístico 104 seja capaz de gerar dados de deformação estimada 124 para a estrutura 108 com um nível de exatidão desejado com base nos dados de tensão de entrada 126. Nesses exemplos ilustrativos, o treinador

102 treina o modelo heurístico 104 utilizando uma pluralidade de casos de treinamento 136 e um processo iterativo.

[00049] Os dados de deformação de treinamento e dados de tensão de treinamento identificados para cada caso de treinamento na pluralidade dos casos de treinamento 136 podem ser identificados em um número de maneiras diferentes no ambiente de treinamento 100. Por exemplo, o ambiente de treinamento 100 pode ser um laboratório, uma instalação para testes, um túnel de vento, ou algum outro tipo de ambiente de treinamento no qual os dados de deformação de treinamento e os dados de tensão de treinamento podem ser gerados. Em alguns casos, o ambiente de treinamento 100 pode ser o ambiente real em que a plataforma 110 opera. Dessa maneira, os dados de deformação de treinamento e os dados de tensão de treinamento podem ser reunidos e coletados em um número qualquer de maneiras diferentes.

[00050] Em uma modalidade ilustrativa, uma pluralidade de acionadores 146 é usada para deformar a estrutura 108 de acordo com a pluralidade dos casos de treinamento 136. Por exemplo, a pluralidade de acionadores 146 pode ser usada para levar a estrutura 108 a se deformar de uma maneira correspondente àquela do caso de treinamento 140. Mais especificamente, a pluralidade de acionadores 146 pode ser usada para aplicar uma pluralidade de cargas selecionadas na pluralidade de pontos 148 na estrutura 108 para levar a pluralidade de pontos 148 a defletir de maneira a levar a estrutura 108 a ter a forma deformada correspondente ao caso de treinamento 140.

[00051] Certamente, em outros exemplos ilustrativos, algum outro tipo de sistema pode ser usado para levar a estrutura 108 a deformar de maneira correspondente à da pluralidade dos casos de treinamento 136. Dependendo da implementação, a estrutura 108 pode ser

deformada para propósitos de treinamento com a estrutura 108 separada da plataforma 110. Em alguns exemplos ilustrativos, a plataforma 110 pode ser operada com a estrutura 108 associada com a plataforma 110 para levar a estrutura 108 a se deformar de acordo com a pluralidade dos casos de treinamento 136.

[00052] Quando a estrutura 108 foi deformada de acordo com um caso de treinamento particular, os dados de deformação de treinamento e os dados de tensão de treinamento para aquele caso de treinamento são identificados. Os dados de deformação de treinamento e os dados de tensão de treinamento podem ser chamados de conjunto de dados de treinamento, em alguns exemplos ilustrativos. Os dados de deformação de treinamento podem ser identificados em um número de diferentes maneiras. Como exemplo ilustrativo, o treinador 102 pode identificar os dados de deformação de treinamento usando dados de imagem 150 recebidos do sistema de imagem 152.

[00053] O sistema de imagem 152 compreende qualquer número de componentes configurado para gerar dados de imagem 150 a partir dos quais uma pluralidade de medidas de deformação pode ser identificada. Por exemplo, o sistema de imagem 152 pode compreender um sistema de imagem óptica, um sistema de imagem a laser, um sistema de imagem infravermelha, ou algum outro tipo adequado de sistema de imagem. Em alguns exemplos ilustrativos, os dados de imagem 150 podem incluir uma pluralidade de medidas de deformação para uso como dados de deformação de treinamento.

[00054] Além disso, os dados de tensão 128 gerados pelo sistema sensor 130 quando a estrutura 108 é deformada de acordo com um caso de treinamento particular podem ser usados como os dados de tensão de treinamento para aquele caso de treinamento. Certamente, em outros exemplos ilustrativos, o sistema sensor 130 pode gerar

outros dados de sensor além dos dados de tensão 128 ou substituindo mesmos. O treinador 102 pode usar esses outros dados de sensor para identificar os dados de tensão de treinamento.

[00055] Nesses exemplos ilustrativos, o número de casos de treinamento dentre a pluralidade dos casos de treinamento 136 pode ser selecionada pelo operador. Os novos casos de treinamento podem ser adicionados à pluralidade dos casos de treinamento 136 em qualquer ponto do tempo de modo que o modelo heurístico 104 possa se adaptar a esses novos dados.

[00056] Além disso, em alguns casos, o treinador 102 pode identificar dados ambientais de treinamento para um caso de treinamento, tal como o caso de treinamento 140, para treinar o modelo heurístico 104. Esses dados ambientais de treinamento podem ser identificados em um número de diferentes maneiras. Por exemplo, dados ambientais históricos e/ou dados ambientais de teste podem ser usados. Esses dados ambientais de treinamento podem ser usados para treinar o modelo heurístico 104 de modo que os dados de deformação estimada 124 possam ser gerados com o nível de exatidão desejado com base nos dados de tensão de entrada 126 quando a estrutura 108 é operada em diferentes tipos de condições ambientais.

[00057] Uma vez que o modelo heurístico 104 tenha sido treinado dentro do ambiente de treinamento 100, o modelo heurístico 104 pode ser usado na estrutura 108 para gerenciar o desempenho da estrutura 108 durante a operação da plataforma 110. Por exemplo, quando a estrutura 108 é uma antena com arranjo em fase, o modelo heurístico 104 pode ser usado em uma unidade de processamento associada à antena com arranjo em fase. Os dados de deformação estimada 124 gerados pelo modelo heurístico 104 durante a operação da plataforma 110 podem ser usados para ajustar o grupo de parâmetros de controle

115 para a estrutura 108.

[00058] Nesses exemplos ilustrativos, o grupo de parâmetros de controle 115 é ajustado para aumentar o desempenho da estrutura 108 até um nível de desempenho desejado quando a estrutura 108 tem a forma deformada 116. O desempenho da estrutura 108 pode ser avaliado utilizando-se o grupo de parâmetros de desempenho 154 para a estrutura 108. Quando a estrutura 108 é uma antena com arranjo em fase, o grupo de parâmetros de desempenho 154 pode incluir, por exemplo, entre outros, relação de lóbulo lateral máxima (PSLR), perda no ganho, o desvio do ângulo direcionador de feixe e/ou outros tipos de parâmetros de desempenho adequados.

[00059] Os dados de deformação estimada 124 podem ser usados para calcular valores para ajustar o grupo de parâmetros de controle 115. O grupo de parâmetros de controle 115 pode ser ajustado com base nesses valores até que o grupo de parâmetros de desempenho 154 indique que a estrutura 108 tem o nível desejado de desempenho quando a estrutura 108 tem a forma deformada 116. Dessa maneira, os dados de deformação estimada 124 são usados para ajustar o grupo de parâmetros de controle 115 para compensar a deformação 106 da estrutura 108 de modo que a estrutura 108 mantenha um nível de desempenho desejado.

[00060] Nesses exemplos ilustrativos, os dados de deformação estimada 124 podem ser identificados para a estrutura 108 e usados para ajustar o grupo de parâmetros de controle 115 para a estrutura 108 durante a operação da plataforma 110 em tempo substancialmente real. O fato desses processos serem desempenhados em “tempo substancialmente real” significa que esses processos são realizados sem quaisquer atrasos não intencionais. Em alguns casos, em “tempo substancialmente real” pode significar imediatamente.

[00061] Por exemplo, sem limitação, em resposta em resposta à deformação da estrutura 108 a partir do formato de referência 114, o modelo heurístico 104 é usado para gerar deformação estimada 124 para essa deformação imediatamente. Os dados de deformação estimada 124 podem então ser usados para controlar imediatamente a estrutura 108 pelo grupo de ajuste de parâmetros de controle 115 para compensar essa deformação. Dessa maneira, qualquer mudança em um nível de desempenho da estrutura 108 em resposta à deformação da estrutura 108 pode ser reduzida, e, em alguns casos, evitada.

[00062] Dessa maneira, as diferentes modalidades ilustrativas proporcionam um método e aparelho para identificar a deformação 106 da estrutura 108 e gerenciar o desempenho da estrutura 108 com base nessa estimativa. Além disso, as diferentes modalidades ilustrativas proporcionam um método e aparelho para o modelo heurístico de treinamento 104 para gerar dados de deformação estimada 124 para a estrutura 108 com um nível desejado de exatidão em resposta à recepção de dados de entrada 120.

[00063] A ilustração do ambiente de treinamento 100 na Figura 1 não pretende implicar em limitações físicas ou arquitetônicas à maneira em que uma modalidade ilustrativa pode ser implementada. Outros componentes adicionais ou substituindo aqueles ilustrados podem ser usados. Alguns componentes podem ser opcionais. Além disso, os blocos são apresentados para ilustrar alguns componentes funcionais. Um ou mais desses blocos podem estar combinados, divididos, ou combinados e divididos em blocos diferentes quando implementados em uma modalidade ilustrativa.

[00064] Por exemplo, em alguns casos, o modelo heurístico 104 pode compreender uma pluralidade de redes neurais. Cada rede neural pode ser configurada para gerar dados de deformação estimada 124 para um ponto particular na estrutura 108. Nesses

casos, cada rede neural pode ser treinada para gerar uma medida de deformação estimada para o ponto particular na estrutura 108 com base em uma ou mais medidas de tensão de entrada no ou próximo do ponto particular na estrutura 108.

[00065] Além disso, cada caso de treinamento para cada rede neural pode compreender uma ou mais medidas de tensão de treinamento e uma medida de deformação de treinamento no ponto particular. A medida de deformação de treinamento pode ser identificada utilizando-se um sensor no ponto particular na estrutura 108.

[00066] Com referência agora à Figura 2, uma ilustração de um ambiente de treinamento é mostrada de acordo com uma modalidade ilustrativa. Nessa modalidade ilustrativa, o ambiente de treinamento 200 é um exemplo de uma implementação para o ambiente de treinamento 100 na Figura 1. Como ilustrado, o sistema de computador 202, o sistema de suporte 204, o sistema acionador 206, o sistema de imagem 208, e o sistema sensor 210 estão presentes no ambiente de treinamento 200.

[00067] O sistema de computador 202 pode ser um exemplo de uma implementação para o sistema de computador 122 na Figura 1. Um modelo heurístico, tal como o modelo heurístico 104 na Figura 1, pode ser treinado utilizando-se o sistema de computador 202. Em particular, o modelo heurístico pode ser treinado utilizando-se um treinador, tal como, por exemplo, o treinador 102 na Figura 1, implementa no sistema computador 202.

[00068] Como ilustrado, o sistema de suporte 204 é configurado para segurar e suportar a estrutura 211. Nesse exemplo ilustrativo, a estrutura 211 é e antena com arranjo em fase 212. O sistema de suporte 204 suporta e segura a antena com arranjo em fase 212, enquanto o sistema acionador 206 aplica uma pluralidade de cargas

para a antena com arranjo em fase 212 para casos de treinamento selecionados. Como ilustrado, o sistema acionador 206 compreende uma pluralidade de acionadores 214 posicionados relativamente a uma pluralidade de pontos na antena com arranjo em fase 212. A pluralidade de acionadores 214 é configurada para aplicar uma pluralidade de cargas selecionadas para a pluralidade de pontos na antena com arranjo em fase 212 para fazer com que a antena com arranjo em fase 212 deforme de maneira correspondente a um caso de treinamento específico. Nesses exemplos ilustrativos, a aplicação de uma carga selecionada em um ponto na antena com arranjo em fase 212 faz com que o ponto seja defletido a partir de uma referência daquele ponto em um grau selecionado.

[00069] O sistema de imagem 208 é usado para gerar dados de imagem da antena com arranjo em fase 212. Nesse exemplo ilustrativo, o sistema de imagem 208 compreende uma pluralidade de câmeras 216. Os dados de imagem gerados pela pluralidade de câmeras 216 podem ser usados para identificar uma pluralidade de medidas de deformação na pluralidade de pontos na antena com arranjo em fase 212. Nesse exemplo ilustrativo, cada medida de deformação pode ser uma deflexão de um ponto correspondente em uma antena com arranjo em fase 212 em uma direção substancialmente perpendicular à antena com arranjo em fase 212.

[00070] Por exemplo, um treinador, como o treinador 102 na Figura 1, pode identificar medidas de deformação para a antena em arranjo em fase 212 utilizando-se os dados de imagem gerados pela pluralidade de câmeras 216. Essas medidas de deformação proporcionam uma indicação da forma deformada antena com arranjo em fase 212.

[00071] Além disso, o sistema de sensor 210 gera uma pluralidade de medidas de tensão para a antena com arranjo em fase 212. O

sistema sensor 210 compreende uma pluralidade de extensômetros (não mostrados nesta vista) embutido na antena com arranjo em fase 212. A pluralidade de medidas de tensão geradas pelo sistema sensor 210 e a pluralidade de medidas de deformação identificadas utilizando-se o sistema de imagem 208 são enviadas para o sistema de computador 202 para processamento. Um treinador, como o treinador 102 na Figura 1, usa essas diferentes medidas de deformação e medidas de tensão para treinar um modelo heurístico a estimar a deformação da antena com arranjo em fase 212 com um nível desejado de exatidão com base na entrada de dados de tensão no modelo heurístico. O treinador também pode usar outras informações tais como, por exemplo, dados ambientais, para treinar o modelo heurístico.

[00072] A ilustração do ambiente de treinamento 200 na Figura 2 não implica em limitações físicas ou arquitetônicas da maneira em que uma modalidade ilustrativa pode ser implementada. Outros componentes além daqueles ilustrados ou no lugar deles podem ser usados. Alguns componentes podem ser opcionais.

[00073] Além disso, os diferentes componentes mostrados na Figura 2 podem ser combinados com componentes na Figura 1, usados como componentes na Figura 1, ou uma combinação de ambos. Além disso, alguns dos componentes na Figura 2 podem ser exemplos ilustrativos de como os componentes mostrados em forma de bloco na Figura 1 podem ser implementados como estruturas físicas.

[00074] Com referência agora à Figura 3, uma ilustração de uma pluralidade de sensores associados a uma antena com arranjo em fase é mostrada de acordo com uma modalidade ilustrativa. Nesse exemplo ilustrativo, a antena com arranjo em fase 300 é um exemplo de uma implementação para a antena com arranjo em fase 212 na

Figura 2. Além disso, a antena com arranjo em fase 300 é um exemplo de uma implementação para a estrutura 108 na Figura 1.

[00075] A antena com arranjo em fase 300 tem um arranjo de elementos de antena localizados dentro da porção 302 da antena com arranjo em fase 300. A pluralidade de sensores 304 está posicionada em uma pluralidade de pontos 306 na antena com arranjo em fase 300 nesse exemplo mostrado. Como mostrado, uma porção da pluralidade de sensores 304 está localizada dentro da porção 302 da antena com arranjo em fase 300 e outra porção da pluralidade de sensores 304 está localizada fora da porção 302 da antena com arranjo em fase 300.

[00076] A pluralidade de sensores 304 pode assumir a forma de, por exemplo, sem limitação, uma pluralidade de extensômetros. Cada extensômetro está configurado para gerar uma medida de tensão no ponto na antena com arranjo em fase 300 no qual o extensômetro está localizado. Por exemplo, o sensor 308 no ponto 310 dentro da porção 302 da antena com arranjo em fase 300 está configurado para gerar uma medida de tensão no ponto 310.

[00077] Dessa maneira, a pluralidade de sensores 304 gera uma pluralidade de medidas de tensão que formam os dados de tensão para uso como dados de tensão para um modelo heurístico, tal como o modelo heurístico 104 na Figura 1. Em particular, as medidas de tensão geradas pela pluralidade de sensores 304 são um exemplo de dados de tensão 128 na Figura 1 que podem ser usados como dados de tensão de entrada 126 para o modelo heurístico 104 na Figura 1. Além disso, as medidas de tensão geradas pela pluralidade de sensores 304 podem ser usadas para treinar o modelo heurístico 104 na Figura 1.

[00078] Com referência agora à Figura 4, uma ilustração de uma tabela de dados de deformação estimada é ilustrada de acordo com

uma modalidade ilustrativa. Nesse exemplo ilustrativo, a tabela 400 inclui identificadores de ponto 402, caso de treinamento 404, caso de treinamento 406, caso de treinamento 408, caso de treinamento 410 e caso de treinamento 412.

[00079] Os identificadores de ponto 402 identificam os pontos em uma estrutura para a qual medidas de deformação estimada 413 são geradas por um modelo heurístico, tal como o modelo heurístico 104 na Figura 1, que foi treinado, por exemplo, pelo treinador 102 na Figura 1. Nesse exemplo ilustrativo, os pontos identificados pelos identificadores de ponto 402 são uma combinação de pontos da pluralidade de pontos 306 na antena com arranjo em fase 300 na Figura 3.

[00080] O caso de treinamento 404, caso de treinamento 406, caso de treinamento 408, caso de treinamento 410, e caso de treinamento 412 correspondem, cada um, a uma forma deformada particular para a antena com arranjo em fase 300. Para cada um desses casos de treinamento, os sensores na pluralidade de sensores 304 na Figura 3 posicionados nos pontos identificados nos identificadores de pontos 402 geram medidas de tensão para esses pontos quando a antena com arranjo em fase 300 é deformada em uma forma deformada correspondente ao caso de treinamento. Essas medidas de tensão são alimentadas para o modelo heurístico para gerar medidas de deformação estimada 413 para esses mesmos pontos.

[00081] Com referência agora à Figura 5, uma ilustração de uma tabela de dados de deformação real é mostrada de acordo com uma modalidade ilustrativa. Nesse exemplo ilustrativo, a tabela 500 inclui identificadores de ponto 502, caso de treinamento 504, caso de treinamento 506, caso de treinamento 508, caso de treinamento 510, e caso de treinamento 512.

[00082] Os identificadores de ponto 502 identificam os pontos em

uma estrutura para os quais as medidas de deformação real 513 são identificados. As medidas de deformação real 513 são as medidas de deformação identificadas para os pontos na estrutura em que a estrutura foi realmente deformada. As medidas de deformação real 513 para esses casos de treinamento podem ser identificadas, utilizando-se, por exemplo, dados de imagem 150 gerados pelo sistema de imagem 152 na Figura 1.

[00083] Nesse exemplo ilustrativo, os pontos identificados nos identificadores de ponto 502 são uma combinação de pontos selecionados dentre a pluralidade de pontos 306 na antena com arranjo em fase 300 na Figura 3. Em particular, os pontos identificados pelos identificadores de ponto 502 são os mesmos pontos identificados pelos identificadores de ponto 402 na Figura 4.

[00084] O caso de treinamento 504, caso de treinamento 506, caso de treinamento 508, caso de treinamento 510 e caso de treinamento 512 são iguais ao caso de treinamento 404, caso de treinamento 406, caso de treinamento 408, caso de treinamento 410, e caso de treinamento 412, respectivamente.

[00085] Com relação agora à Figura 6, uma ilustração de uma tabela de diferenças entre medidas de deformação estimada e medidas de deformação real é ilustrada de acordo com uma modalidade ilustrativa. Nesse exemplo ilustrativo, a tabela 600 inclui identificadores de ponto 602. Nesse exemplo ilustrativo, os identificadores de ponto 602 identificam os mesmos pontos identificados pelos identificadores de ponto 502 na Figura 5 e identificadores de ponto 402 na Figura 4.

[00086] A Tabela 600 apresenta os valores de diferença 604 para o caso de treinamento 606, caso de treinamento 608, caso de treinamento 610, caso de treinamento 612, e caso de treinamento 614. O caso de treinamento 606, caso de treinamento 608, caso de

treinamento 610, caso de treinamento 612, e caso de treinamento 614 são iguais ao caso de treinamento 404, caso de treinamento 406, caso de treinamento 408, e caso de treinamento 410, e caso de treinamento 412, respectivamente, na Figura 4. Além disso, o caso de treinamento 606, caso de treinamento 608, caso de treinamento 610, caso de treinamento 612, e caso de treinamento 614, são iguais ao caso de treinamento 504, caso de treinamento 506, caso de treinamento 508, caso de treinamento 510, e caso de treinamento 512, respectivamente, na Figura 5.

[00087] Os valores de diferença 604 são as diferenças entre as medidas de deformação estimada 413 na Figura 4 e as medidas da deformação real 513 na Figura 5. Nesse exemplo ilustrativo, os valores de diferença 604 indicam que as medidas de deformação 413 estimada têm o nível desejado de exatidão.

[00088] Com referência agora à Figura 7, uma ilustração de um processo para gerenciar o desempenho de uma estrutura na forma de um fluxograma é mostrada de acordo com uma modalidade ilustrativa. O processo ilustrado na Figura 7 pode ser implementado utilizando-se o treinador 102, o modelo heurístico 104, e a estrutura 108 na Figura 1.

[00089] O processo começa treinando-se um modelo heurístico para gerar dados de deformação estimada para uma estrutura com um nível desejado de exatidão com base nos dados de tensão de entrada para a estrutura (operação 700). A estrutura pode ser, por exemplo, a estrutura 108 na Figura 1. A estrutura pode ser configurada para associação com uma plataforma, tal como a plataforma 110 na Figura 1. A estrutura pode estar associada ou não à plataforma quando os dados de treinamento necessários para treinar o modelo heurístico são coletados.

[00090] A seguir, o processo identifica dados de tensão gerados por

um sistema sensor associado à estrutura durante a operação da plataforma (operação 702). Na operação 702, a estrutura está associada com a plataforma e pode sofrer a carga e/ou a pressão aplicada(s) na estrutura durante a operação da plataforma. Além disso, nesse exemplo ilustrativo, o sistema sensor compreende uma pluralidade de extensômetros fixados ou embutidos na estrutura.

[00091] O processo então gera dados de deformação estimada para a estrutura durante a operação da plataforma com base nos dados de tensão gerados pelo sistema sensor (operação 704). Os dados de tensão gerados pelo sistema sensor formam os dados de tensão de entrada para o modelo heurístico.

[00092] O processo então ajusta um grupo de parâmetros de controle para a estrutura utilizando os dados de deformação estimada para a estrutura para melhorar o desempenho da estrutura até um nível de desempenho desejado (operação 706), com o processo terminando em seguida. Como exemplo ilustrativo, quando a estrutura é uma antena com arranjo em fase, os dados de deformação estimada são usados para ajustar uma fase e/ou uma amplitude para direcionar eletronicamente um feixe formado pela antena com arranjo em fase. Por exemplo, os dados de deformação estimada podem ser alimentados para um algoritmo de compensação para a antena com arranjo em fase.

[00093] Com referência à Figura 8, uma ilustração de um processo para treinar um modelo heurístico na forma de um fluxograma é mostrada de acordo com uma modalidade ilustrativa. O processo ilustrado na Figura 8 pode ser usado para implementar a operação 700 na Figura 7. Além disso, esse processo pode ser implementado utilizando-se o treinador 102 na Figura 1.

[00094] O processo tem início identificando-se os dados de deformação de treinamento para cada caso de treinamento em uma

pluralidade dos casos de treinamento (operação 800). Cada caso de treinamento na pluralidade dos casos de treinamento corresponde a pelo menos uma dentre uma forma deformada específica para uma estrutura, tal como a estrutura 108 na Figura 1, e uma intensidade selecionada de carga e/ou pressão a ser aplicada na estrutura. Na operação 800, os dados de deformação de treinamento podem ser identificados utilizando-se, por exemplo, dados de imagem 150 gerados pelo sistema de imagem 152 na Figura 1.

[00095] O processo então identifica os dados de tensão de treinamento para cada caso de treinamento na pluralidade dos casos de treinamento (operação 802). Na operação 802, os dados de tensão de treinamento podem ser identificados utilizando-se, por exemplo, dados de tensão gerados por um sistema sensor associado à estrutura, tal como, por exemplo, dados de tensão 128 gerados pelo sistema sensor 130 associado à estrutura 108 na Figura 1.

[00096] Depois disso, o processo ajusta um grupo de parâmetros para o modelo heurístico utilizando os dados de deformação de treinamento e os dados de tensão de treinamento para cada caso na pluralidade de casos de treinamento, de modo que o modelo heurístico seja treinado para gerar dados de deformação estimada para a estrutura com um nível desejado de exatidão com base nos dados de tensão de entrada para a estrutura (operação 804), com o processo terminando a seguir. Em particular, a operação 804 pode ser realizada de maneira que o modelo heurístico gere dados de deformação estimada para a estrutura com o nível desejado de exatidão durante a operação da plataforma com a qual a estrutura está associada.

[00097] Com referência agora à Figura 9, uma ilustração de um processo para treinar um modelo heurístico na forma de um fluxograma é mostrada de acordo com uma modalidade ilustrativa. O processo ilustrado na Figura 9 pode ser usado para implementar a

operação 700 na Figura 7. Além disso, esse processo pode ser um processo mais detalhado do processo descrito na Figura 8.

[00098] O processo começa pela seleção de um caso de treinamento dentre uma pluralidade dos casos de treinamento (operação 900). Nesse exemplo ilustrativo, cada caso de treinamento na pluralidade dos casos de treinamento especifica uma forma deformada particular para a estrutura. O processo então deforma a estrutura de modo que a estrutura tem a forma deformada especificada pelo caso de treinamento selecionado (operação 902).

[00099] Depois disso, o processo identifica os dados de deformação de treinamento para a estrutura tendo a forma deformada especificada pelo caso de treinamento selecionado (operação 904). A operação 904 pode ser desempenhada utilizando-se, por exemplo, um sistema de imagem. Os dados de deformação de treinamento identificados na operação 904 compreendem uma pluralidade de medidas de deformação identificadas para uma pluralidade de pontos na estrutura.

[000100] O processo também identifica os dados de tensão de treinamento para a estrutura que apresenta a forma deformada especificada pelo caso de treinamento selecionado (operação 906). A operação 906 pode ser desempenhada utilizando-se um sistema sensor associado com a estrutura. O sistema sensor compreende uma pluralidade de sensores. Cada sensor gera uma medida de tensão para um ponto particular na estrutura na qual o sensor é posicionado. Dessa maneira, os dados de tensão de treinamento compreendem uma pluralidade de medidas de tensão para uma pluralidade de pontos na estrutura.

[000101] Nesse exemplo ilustrativo, a pluralidade de medidas de deformação nos dados de deformação de treinamento e a pluralidade de medidas de tensão nos dados de tensão de treinamento são geradas para uma mesma pluralidade de pontos na estrutura. Dessa

maneira, cada medida de tensão gerada em um ponto na estrutura corresponde a uma medida de deformação gerada no mesmo ponto na estrutura.

[000102] A seguir, o processo seleciona uma combinação de medidas de tensão dentre os dados de tensão de treinamento (operação 908). Nesse contexto, uma “combinação de medidas de tensão” é uma seleção de uma ou mais dentre a pluralidade de medidas de tensão geradas pela pluralidade de sensores no sistema sensor. A combinação de medidas de tensão não inclui mais que uma medida de tensão de um sensor particular no sistema sensor. Dessa maneira, uma seleção de uma combinação de medidas de tensão corresponde a uma seleção de uma combinação de sensores no sistema sensor. A combinação de medidas de tensão selecionadas pode incluir uma das, algumas ou todas as medidas de tensão.

[000103] O processo então utiliza a combinação selecionada de medidas de tensão e uma combinação correspondente de medidas de deformação nos dados de deformação de treinamento para treinar o modelo heurístico (operação 910). Na operação 910, o modelo heurístico usa a combinação selecionada das medidas de tensão e a combinação correspondente de medidas de deformação para ajustar um grupo de parâmetros para o modelo heurístico. O grupo de parâmetros ajustado determina os dados de deformação estimada que são gerados pelo modelo heurístico com base em certos dados de tensão de entrada.

[000104] A seguir, o processo alimenta a combinação selecionada de medidas de tensão no modelo heurístico para gerar os dados de deformação estimada (operação 912). O processo determina se os dados da deformação estimada têm um nível de exatidão desejado (operação 914). Na operação 914, a determinação pode ser feita com base em se uma diferença entre os dados de deformação estimada

gerados pelo modelo heurístico e os dados de deformação real indicados nos dados de deformação de treinamento está dentro de tolerâncias selecionadas.

[000105] Se os dados de deformação estimada não têm o nível de exatidão desejado, o processo ajusta o grupo de parâmetros para o modelo heurístico 916 e então volta para a operação 912. Com referência novamente à operação 914, se os dados da deformação estimada têm o mesmo nível desejado de exatidão, o processo armazena a combinação selecionada de medidas de tensão, a combinação correspondente de medidas de deformação, e os valores para o grupo de parâmetros (operação 918).

[000106] O processo então determina se quaisquer outras combinações de medidas de tensão estão presentes (operação 920). Se quaisquer outras combinações não processadas de medida de tensão estiverem presentes, o processo retorna para a operação 908 como descrito acima para selecionar uma nova combinação não-processada de medidas de tensão.

[000107] Se não for assim, o processo determina se quaisquer outros casos de treinamento estão presentes na pluralidade dos casos de treinamento (operação 922). Se quaisquer outros casos de treinamento não-processados estiverem presentes, o processo retorna para a operação 900 como descrito acima. Se assim não for, o processo termina. Dessa maneira, o processo descrito na Figura 1 treina o modelo heurístico para gerar dados de deformação estimada com um nível desejado de exatidão utilizando a pluralidade de casos de treinamento.

[000108] Com referência agora à Figura 10, uma ilustração de um processo para identificar uma configuração de sensores para uso em uma estrutura na forma de um fluxograma é mostrada de acordo com uma modalidade ilustrativa. O processo descrito na Figura 10 pode ser

implementado para selecionar um número de sensores dentre a pluralidade de sensores 132 no sistema sensor 130 para a estrutura 108 na Figura 1 e uma configuração para esses sensores selecionados.

[000109] O processo começa pela identificação dos dados de deformação estimada gerados pelo modelo heurístico com base em cada combinação selecionada de medidas de tensão para cada caso de treinamento na pluralidade dos casos de treinamento para o modelo heurístico (operação 1000). O processo então utiliza os dados de deformação estimada gerados com base em cada combinação selecionada de medidas de tensão para cada caso de treinamento na pluralidade dos casos de treinamento para ajustar um grupo de parâmetros de controle para a estrutura (operação 1002).

[000110] A seguir, o processo identifica a combinação de medidas de tensão com o número mínimo de medidas de tensão necessário para que o modelo heurístico gere dados de deformação estimada para a estrutura com o nível de exatidão necessário para proporcionar um nível desejado de desempenho para a estrutura quando os dados de deformação estimada são usados para ajustar o grupo de parâmetros de controle para a estrutura (operação 1004), com o processo terminando a seguir. Por exemplo, um algoritmo de compensação pode usar os dados de deformação estimada gerados pelo modelo heurístico para ajustar o grupo de parâmetros de controle para a estrutura, de modo que a estrutura tenha um nível desejado de desempenho.

[000111] Os dados de deformação estimada têm o nível desejado de exatidão quando uma diferença entre um grupo de parâmetros de desempenho para a estrutura com base em ajustes no grupo de parâmetros de controle, identificados através do uso dos dados de deformação estimada, e o grupo de parâmetros de desempenho para

estrutura com base em ajustes para o grupo de parâmetros de controle, identificados através do uso de dados de deformação real, está dentro de tolerâncias selecionadas. Na operação 1004, o processo determina qual combinação de medidas de tensão, que leva à geração, pelo modelo heurístico, de dados de deformação estimada com o nível desejado de exatidão, tem o número mínimo de sensores.

[000112] Os fluxogramas e diagramas de bloco nas diferentes modalidades mostradas ilustram a arquitetura, funcionalidade, e operação de algumas possíveis implementações de aparelhos e métodos de acordo com uma modalidade ilustrativa. A esse respeito, cada bloco nos fluxogramas ou diagramas de bloco pode representar um módulo, segmento, função, e/ou uma porção de uma operação ou etapa. Por exemplo, um ou mais dentro os blocos pode(m) ser implementado(s) como código de programa, em hardware, ou como uma combinação dos dois. Quando implementado em hardware, o hardware pode, por exemplo, tomar a forma de circuitos integrados que são manufaturados ou configurados para desempenhar uma ou mais operações nos fluxogramas ou diagramas de bloco.

[000113] Em algumas implementações alternativas de uma modalidade ilustrativa, a função ou funções observada(s) nos blocos pode(m) ocorrer fora da ordem observada das figuras. Por exemplo, em alguns casos, dois blocos mostrados consecutivamente podem ser executados substancialmente ao mesmo tempo, ou os blocos podem algumas vezes ser executados na ordem contrária, dependendo da funcionalidade envolvida. Além disso, outros blocos podem ser acrescentados além dos blocos ilustrados em um fluxograma ou diagrama de blocos.

[000114] Com referência agora às Figuras 11-14, ilustrações de comparações entre gráficos para parâmetros de controle são mostradas de acordo com uma modalidade ilustrativa. Nas Figuras 11-

14, cada par de gráficos compara ajustes feitos com um parâmetro de controle para uma antena com arranjo em fase utilizando dados de deformação estimada e dados de deformação real.

[000115] Os dados de deformação real podem ser gerados utilizando-se, por exemplo, o modelo heurístico na Figura 1. Os dados de deformação estimada são gerados por um sistema sensor associado à antena de com arranjo em fase. Nas Figuras 11-14, os valores dos parâmetros de controle são apresentados nos diferentes gráficos com relação ao número de sensores no sistema sensor associado à antena com arranjo em fase.

[000116] Com referência agora à Figura 11, uma ilustração de uma comparação de gráficos para relação de lóbulo lateral máxima de uma antena com arranjo em fase é mostrada com uma modalidade ilustrativa. O gráfico 1100 tem o eixo geométrico horizontal 1104 e o eixo geométrico vertical 1106. O gráfico 1102 tem o eixo geométrico horizontal 1108 e eixo geométrico vertical 1110.

[000117] O eixo geométrico horizontal 1104 e o eixo geométrico vertical 1108 representam um número de pontos na antena com arranjo em fase para os quais as medidas de deformação estimada e as medidas de deformação real são identificadas. Tanto o eixo geométrico vertical 1106 quanto o eixo geométrico vertical 110 representam a relação de lóbulo lateral máxima, em decibéis, escolhida para antena com arranjo em fase.

[000118] Entretanto, a curva 1112 no gráfico 1100 identifica a relação de lóbulo lateral máxima quando dados de deformação estimada gerados por um modelo heurístico treinado são usados para ajustar a fase e/ou amplitude para a antena com arranjo em fase. A curva 1114 no gráfico 1102 identifica a relação de lóbulo lateral máxima quando os dados de deformação real são usados para ajustar a fase e/ou amplitude para a antena com arranjo em fase.

[000119] Como mostrado, essas curvas indicam que a relação de lóbulo lateral máxima selecionada para antena com arranjo em fase com base nos dados de deformação estimada está dentro de tolerâncias selecionadas da relação de lóbulo lateral máxima escolhida para a antena com arranjo em fase com base nos dados de deformação real. Em outras palavras, a relação do lóbulo lateral máxima para a antena com arranjo em fase, quando a antena com arranjo em fase está compensada eletronicamente pela utilização dos dados de deformação estimada, e a relação de lóbulo lateral máxima para a antena com arranjo em fase quando a antena com arranjo em fase está compensada eletronicamente pela utilização dos dados de deformação real podem ser substancialmente iguais dentro de tolerâncias selecionadas.

[000120] Com referência agora à Figura 12, uma ilustração de uma comparação de gráficos para uma redução em ganho é mostrada de acordo com uma modalidade ilustrativa. Nesse exemplo ilustrativo, o gráfico 1200 tem o eixo geométrico horizontal 1204 e o eixo geométrico vertical 1206. O gráfico 1202 tem o eixo geométrico horizontal 1208 e o eixo geométrico vertical 1210.

[000121] Tanto o eixo geométrico horizontal 1204 quanto o eixo geométrico horizontal 1208 representam um número de sensores no sistema sensor associado à antena com arranjo em fase. Tanto o eixo geométrico vertical 1206 quanto o eixo geométrico vertical 1210 representam a redução no ganho para a antena com arranjo em fase, em decibéis.

[000122] Entretanto, a curva 1212 no gráfico 1200 identifica a redução no ganho quando dados de deformação estimada gerados por um modelo heurístico treinado são usados para ajustar a fase e/ou amplitude para a antena com arranjo em fase. A curva 1214 no gráfico 1202 identifica a redução no ganho quando dados de deformação real

são usados para ajustar a fase e/ou a amplitude para a antena com arranjo em fase.

[000123] Como mostrado, essas curvas indicam que a redução no ganho para a antena com arranjo em fase com base nos dados de deformação estimada está dentro de tolerâncias selecionadas da redução em ganho para a antena com arranjo em fase com base nos dados de deformação real. Em outras palavras, a redução no ganho para a antena com arranjo em fase, quando a antena com arranjo em fase é compensada eletronicamente utilizando-se os dados de deformação estimada, e a redução em ganho para a antena com arranjo em fase, quando a antena com arranjo em fase é compensada eletronicamente utilizando os dados de deformação real, pode ser substancialmente igual dentro de tolerâncias selecionadas.

[000124] Com referência agora à Figura 13, uma ilustração de uma comparação de gráficos relativos à fase é mostrada de acordo com uma modalidade ilustrativa. Nesse exemplo ilustrativo, o gráfico 1300 tem um eixo geométrico horizontal 1304 e um eixo geométrico vertical 1306. O gráfico 1302 tem um eixo geométrico horizontal 1308 e um eixo geométrico vertical 1310.

[000125] Tanto o eixo geométrico horizontal 1304 quanto o eixo geométrico horizontal 1308 representam um número de sensores no sistema sensor associado à antena com arranjo em fase. Tanto o eixo geométrico vertical 1306 quanto o eixo geométrico vertical 1310 representam a fase selecionada para a antena com arranjo em fase, em graus.

[000126] Entretanto, a curva 1312 no gráfico 1300 identifica a fase quando dados de deformação estimada gerados por um modelo heurístico treinado são usados para ajustar a fase para a antena com arranjo em fase. A curva 1314 no gráfico 1302 identifica a fase quando dados de deformação real são usados para ajustar a fase para a

antena com arranjo em fase. Como mostrado, essas curvas indicam que a fase selecionada para a antena com arranjo em fase com base nos dados de deformação estimada está dentro de tolerâncias selecionadas da fase selecionada para a antena com arranjo em fase com base nos dados de deformação real.

[000127] Com referência agora à Figura 14, uma ilustração de uma comparação de gráficos relativos a um desvio do ângulo de direcionamento de feixe é mostrada de acordo com uma modalidade ilustrativa. Nesse exemplo ilustrativo, o gráfico 1400 tem um eixo geométrico horizontal 1404 e um eixo geométrico vertical 1406. O gráfico 1402 tem um eixo geométrico horizontal 1408 e um eixo geométrico vertical 1410.

[000128] Tanto o eixo geométrico horizontal 1404 quanto o eixo geométrico horizontal 1408 representam um número de sensores no sistema sensor associado à antena com arranjo em fase. Tanto o eixo geométrico vertical 1406 quanto o eixo geométrico vertical 1410 representam o desvio do ângulo de direcionamento de feixe para a antena com arranjo em fase, em graus. .

[000129] Entretanto, a curva 1412 no gráfico 1400 identifica o desvio do ângulo de direcionamento de feixe quando dados de deformação estimada gerados por um modelo heurístico treinado são usados para ajustar a fase e/ou a amplitude para a antena com arranjo em fase. A curva 1414 no gráfico 1402 identifica o desvio do ângulo de direcionamento de feixe quando dados de deformação real são usados para ajustar a fase e/ou a amplitude para a antena com arranjo em fase.

[000130] Como mostrado, essas curvas indicam que o desvio do ângulo de direcionamento de feixe para a antena com arranjo em fase com base nos dados de deformação estimada está dentro de tolerâncias escolhidas para o desvio do ângulo de direcionamento de

feixe para a antena com arranjo em fase com base nos dados de deformação real. Em outras palavras, o desvio do ângulo de direcionamento de feixe para a antena com arranjo em fase, quando a antena com arranjo em fase é compensada eletronicamente utilizando os dados de deformação estimada, e o desvio do ângulo de direcionamento de feixe para a antena com arranjo em fase quando a antena com arranjo em fase está compensada eletronicamente utilizando os dados de deformação real, podem ser substancialmente iguais dentro de tolerâncias selecionadas.

[000131] As ilustrações dos gráficos 1100 e 1102 na Figura 11, gráficos 1200 e 1202 na Figura 12, gráficos 1300 e 1302 na Figura 13 e gráficos 1400 e 1402 na Figura 14 não pretendem implicar em limitações físicas ou arquitetônicas para a maneira pela qual uma modalidade ilustrativa pode ser implementada. Os dados apresentados nesses gráficos são relativos a apenas uma possível implementação para uma estrutura, um sistema sensor associado a essa estrutura, e um modelo heurístico usado para estimar a deformação da estrutura.

[000132] Com referência agora à Figura 15, uma ilustração de um sistema de processamento de dados é mostrada de acordo com uma modalidade ilustrativa. O sistema de processamento de dados 1500 pode ser usado para implementar o sistema de computador 122 na Figura 1 e/ou sistema de computador 202 na Figura 2. Nesse exemplo ilustrativo, o sistema de processamento de dados 1500 inclui uma estrutura 1502, a qual proporciona comunicações entre a unidade de processamento 1504, a memória 1506, o armazenamento persistente 1508, a unidade de comunicações 1510, a unidade de entrada/saída (I/O) 1512, e o mostrador 1514. Nesses exemplos, a estrutura de comunicações 1502 pode ser um sistema de barramento.

[000133] A unidade de processamento 1504 serve para executar instruções para software que podem estar carregadas na memória

1506. A unidade de processamento 1504, pode ser um número de processadores, um núcleo multiprocessador, ou algum outro tipo de processador, dependendo da implementação particular. Além disso, a unidade de processamento 1504 pode ser implementada utilizando-se um número de sistemas processadores heterogêneos nos quais um processador principal está presente juntamente com processadores secundários em um único chip. Como outro exemplo ilustrativo, a unidade de processamento 1504 pode ser um sistema multiprocessador simétrico que contém múltiplos processadores do mesmo tipo.

[000134] A memória 1506 e o armazenamento persistente 1508 são exemplos de dispositivos de armazenamento 1516. Um dispositivo de armazenamento é qualquer peça de hardware que seja capaz de armazenar informação, tal como, por exemplo, sem limitações, dados, código de programa em forma funcional, e/ou outros tipos adequados de informação em base temporária e/ou em base permanente. Dispositivos de armazenamento 1516 também podem ser chamados de dispositivos de armazenamento legíveis por computador nestes exemplos. A memória 1506, apenas nesses exemplos ilustrativos, pode ser, por exemplo, uma memória de acesso aleatório ou qualquer outro dispositivo de armazenamento volátil ou não volátil. O armazenamento persistente 1508 pode assumir várias formas, dependendo da implementação particular.

[000135] Por exemplo, o armazenamento persistente 1508 pode conter um ou mais componentes ou dispositivos. Por exemplo, o armazenamento persistente 1508 pode ser um hard drive, uma memória flash, um disco óptico que pode ser reescrito, uma fita magnética que pode ser reescrita, ou alguma combinação destes. A mídia usada pela armazenagem persistente 1508 também pode ser removível. Por exemplo, um hard drive removível pode ser usado para

o armazenamento persistente 1508.

[000136] A unidade de comunicações 1510, nesses exemplos, garante as comunicações com outros sistemas ou dispositivos de processamento de dados. Nesses exemplos, a unidade de comunicações 1510 é um cartão de interface de rede. A unidade de comunicações 1510 pode proporcionar comunicações através do uso de links de comunicações físicos e/ou sem fio.

[000137] A unidade de entrada/saída 1512 permite entrada e saída de dados com outros dispositivos que podem estar conectados ao sistema de processamento de dados 1500. Por exemplo, a unidade de entrada/saída 1512 pode proporcionar uma conexão para a entrada do usuário através de um teclado, mouse, e/ou algum outro dispositivo de entrada adequado. Além disso, a unidade de entrada/saída 1512 pode enviar informação para um impressor. O mostrador 1514 proporciona um mecanismo para mostrar informação para um usuário.

[000138] Instruções para o sistema de operação, aplicações, e/ou programas podem estar localizados nos dispositivos de armazenamento 1516, que estão em comunicação com a unidade de processamento 1504 através da estrutura de comunicações 1502. Nesses exemplos ilustrativos, as instruções estão em uma forma funcional no armazenamento persistente 1508. Essas instruções podem ser carregadas na memória 1506 para execução pela unidade de processamento 1504. Os processos das diferentes modalidades podem ser realizados pela unidade de processamento 1504 utilizando-se instruções implementadas por computador, que podem estar localizados em uma memória, como a memória 1506.

[000139] Essas instruções são chamadas de código de programa, código de programa utilizável por computador, ou código de programa legível por computador que podem ser lidos e executados por um processador na unidade de processamento 1504. O código de

programa nas diferentes modalidades pode estar incorporado em diferentes meios físicos ou de armazenamento legível por computador, tais como a memória 1506 ou o armazenamento persistente 1508.

[000140] O código de programa 1518 está localizado em uma forma funcional nos meios legíveis por computador 1520 que são seletivamente removíveis e podem ser carregados em ou transferidos para o sistema de processamento de dados 1500 para execução pela unidade de processamento 1504. O código de programa 1518 e os meios legíveis por computador 1520 formam o produto de programa de computador 1522 nesses exemplos ilustrativos. Em um exemplo, os meios legíveis por computador 1520 podem ser meios de armazenamento legíveis por computador 1524 ou meio de sinal legível por computador 1526. Os meios de armazenamento legíveis por computador 1524 podem incluir, por exemplo, um disco óptico ou magnético que é inserido ou colocado em um drive ou em outro dispositivo que faça parte do armazenamento persistente 1508 para transferência para um dispositivo de armazenamento, tal como um hard drive, que seja parte do armazenamento persistente 1508. Os meios de armazenamento legíveis por computador 1524 também podem assumir a forma de um armazenamento persistente, tal como um hard drive, um pen drive, ou uma memória flash, que está conectada ao sistema de processamento de dados 1500. Em alguns casos, meios de armazenamento legíveis por computador 1524 são um dispositivo de armazenamento físico ou tangível usado para armazenar o código de programa 1518 ao invés de um meio que propaga ou transmite o código de programa 1518. Os meios de armazenamento legíveis por computador 1524 também são chamados de um dispositivo de armazenamento tangível legível por computador ou um dispositivo de armazenamento físico legível por computador. Em outras palavras, os meios de armazenamento legíveis por

computador 1524 são um tipo de mídia que pode ser tocada por uma pessoa.

[000141] Alternativamente, o código do programa 1518 pode ser transferido a um sistema de processamento de dados 1500 usando meio de sinal legível por computador 1526. O meio de sinal legível por computador 1526 pode ser, por exemplo, um sinal de dados propagado contendo o código do programa 1518. Por exemplo, o meio de sinal legível por computador 1526 pode ser um sinal eletromagnético, um sinal óptico, e/ou qualquer outro tipo de sinal adequado. Estes sinais podem ser transmitidos através de links de comunicações, tais como links de comunicações sem fio, cabo de fibra óptica, cabo coaxial, um fio, e/ou qualquer outro tipo adequado de link de comunicações. Em outras palavras, o link de comunicações e/ou a conexão pode ser física ou sem fio nestes exemplos ilustrativos.

[000142] Em algumas modalidades ilustrativas, o código do programa 1518 pode ser baixado através de uma rede de armazenamento persistente 1508 de outro dispositivo ou sistema de processamento de dados através do meio de sinal legível por computador 1526 para uso dentro do sistema de processamento de dados 1500. Por exemplo, o código de programa armazenado em um meio de armazenamento legível por computador em um sistema de processamento de dados do servidor pode ser baixado através de uma rede do servidor para o sistema de processamento de dados 1500. O sistema de processamento de dados que fornece o código do programa 1518 pode ser um computador do servidor, um computador do cliente, ou algum outro dispositivo capaz de armazenar e transmitir o código do programa 1518.

[000143] Os componentes diferentes ilustrados para o sistema de processamento de dados 1500 não se destinam a fornecer limitações arquitetônicas à maneira nas quais as modalidades diferentes podem

ser implementadas. As diferentes modalidades ilustrativas podem ser implementadas em um sistema de processamento de dados incluindo componentes além ou em lugar daqueles ilustrados para o sistema de processamento de dados 1500. Outros componentes mostrados na Figura 15 podem ser diferentes dos exemplos ilustrativos mostrados abaixo. As modalidades diferentes podem ser implementadas usando qualquer dispositivo de hardware ou sistema capaz de executar o código de programa. Como um exemplo, o sistema de processamento de dados pode incluir componentes orgânicos integrados com componentes inorgânicos e/ou pode ser inteiramente composto de componentes orgânicos, excluindo um ser humano. Por exemplo, um dispositivo de armazenamento pode ser composto de um semicondutor orgânico.

[000144] Em outro exemplo ilustrativo, a unidade de processamento 1504 pode assumir a forma de uma unidade de hardware que tem circuitos que são fabricados ou configurados para um uso determinado. Este tipo de hardware pode executar operações sem a necessidade do código de programa ser carregado em uma memória de um dispositivo de armazenamento a ser configurado para executar as operações.

[000145] Por exemplo, quando a unidade de processamento 1504 assume a forma de uma unidade de hardware, a unidade de processamento 1504 pode ser um sistema de circuito, um circuito integrado para executar tarefa específica (ASIC), um dispositivo lógico programável, ou algum outro tipo adequado de hardware configurado para executar um número de operações. Com um dispositivo lógico programável, o dispositivo é configurado para executar o número de operações. O dispositivo pode ser reconfigurado em um momento posterior ou pode ser configurado para executar o número de operações de forma permanente. Exemplos de dispositivos lógicos

programáveis incluem, por exemplo, um arranjo lógico programável, um arranjo lógico programável em campo, um arranjo de portas programável em campo, e outros dispositivos de hardware adequados. Com este tipo de implementação, o código do programa 1518 pode ser omitido porque os processos para as modalidades diferentes são implementados em uma unidade de hardware.

[000146] Em ainda outro exemplo ilustrativo, a unidade de processamento 1504 pode ser implementada utilizando-se uma combinação de processadores encontrados em computadores e unidades de hardware. A unidade de processamento 1504 pode ter um número de unidades de hardware e um número de processadores que estão configurados para executar o código de programa 1518. Com este exemplo mostrado, alguns dos processos podem se implementados no número de unidades de hardware, enquanto outros processos podem se implementados no número de processadores.

[000147] Em outro exemplo, um sistema de barramento pode ser usado para implementar uma estrutura de comunicações 1502 e pode ser constituído de um ou mais barramentos, tais como um sistema de barramento ou um barramento de entrada/ saída. É claro que o sistema pode ser implementado usando qualquer outro tipo de construção adequada que proporcione uma transferência de dados entre os dispositivos ou componentes diferentes ligados ao sistema de barramento.

[000148] Além disto, um sistema de comunicações pode incluir um número de mais dispositivos que transmitem dados, recebem dados, ou transmitem e recebem dados. Uma unidade de comunicações pode ser, por exemplo, um modem ou um adaptador de rede, dois adaptadores de rede, ou alguma combinação dos mesmos. Ainda, uma memória pode ser, por exemplo, memória 1506, ou uma memória cache, de modo como encontrada em um hub de controlador de

memória e interface que pode estar presente na estrutura de comunicações 1502.

[000149] Abaixo estão aspectos, variações, casos e exemplos das ilustrações divulgadas no texto e nas figuras acima. Em um aspecto, um método é revelado para identificar deformação de uma estrutura 108, o método incluindo: identificar os dados de deformação de treinamento 142 para a estrutura 108 para cada caso para treinamento em uma pluralidade de casos de treinamento 136, em que os dados de deformação de treinamento 142 são configurados para uso por um modelo heurístico 108 para aumentar a exatidão dos dados de saída 118 gerados pelo modelo heurístico 104; identificar os dados de tensão de treinamento 144 para a estrutura 108 para cada caso de treinamento na pluralidade dos casos de treinamento 136, em que os dados de tensão de treinamento 144 são configurados para uso por um modelo heurístico 104 para aumentar a exatidão dos dados de saída 118 gerados pelo modelo heurístico 104; e ajustar um grupo de parâmetros 121 por um modelo heurístico 104 usando os dados de deformação de treinamento 142 e os dados de tensão de treinamento 144 para cada caso de treinamento na pluralidade dos casos de treinamento 136 de modo que o modelo heurístico 104 é treinado para gerar dados de deformação estimada 124 para a estrutura 108 com base nos dados de tensão de entrada 126 em que os dados de deformação estimada 124 têm um um nível desejado de exatidão.

[000150] Em uma variação, o método inclui ainda gerar dados de tensão 128 para a estrutura 108 usando um sistema sensor 130 associado com a estrutura 108 durante a operação de uma plataforma 110 quando a estrutura 108 está associada com a plataforma 110. Em outra variação, o método inclui ainda gerar dados de deformação estimada 124 para a estrutura 108 usando o modelo heurístico 104 e os dados de tensão 128 como os dados de tensão de entrada 126

para o modelo heurístico 104. Em ainda outra variação, o método inclui um em que a etapa de gerar dados de deformação estimada 124 para a estrutura 108 usando o modelo heurístico 104 e os dados de tensão 128 como os dados de tensão de entrada 126 para o modelo heurístico 104 inclui: gerar os dados de deformação estimada 124 para a estrutura 108 usando o modelo heurístico 104, os dados de tensão 128 como os dados de tensão de entrada 126 para o modelo heurístico 104, e os dados de entrada adicionais 133 para o modelo heurístico 104.

[000151] Em uma instância, o método inclui ainda: ajustar um grupo de parâmetros de controle 115 para a estrutura 108 usando os dados de deformação estimada gerados pelo modelo heurístico 104 de modo que a estrutura 108 tenha um nível de desempenho desejado durante a operação da plataforma 110. Em outra instância, o método inclui a etapa de ajustar o grupo de parâmetros para controle 115 para a estrutura 108 usando os dados de deformação estimada 124 gerados pelo modelo heurístico 104 de modo que a estrutura 108 tenha o nível de desempenho desejado durante a operação da plataforma 110 inclui: ajustar o grupo de parâmetros de controle 115 para a estrutura 108 para compensar pela deformação da estrutura 108 durante a operação da plataforma 110 usando os dados da deformação estimados 124 gerados pelo modelo heurístico 104.

[000152] Em um exemplo, o método inclui ainda: selecionar uma combinação de sensores para o sistema sensor 130, em que a combinação selecionada dos sensores tem um número mínimo de sensores necessários para o modelo heurístico 104 gerar os dados de deformação estimada 124 com um nível desejado de exatidão e para a estrutura 108 ter um nível de desempenho desejado durante a operação da plataforma 110 quando os dados de deformação estimada 124 são usados para ajustar o grupo dos parâmetros de

controle 115. Em outro exemplo, o método inclui a etapa de identificar os dados de deformação de treinamento 142 para a estrutura 108 para cada caso de treinamento na pluralidade dos casos de treinamento 136 inclui: identificar os dados de deformação de treinamento 142 para a estrutura 108 para cada caso de treinamento na pluralidade dos casos de treinamento 136 usando dados de imagem 150 gerados por um sistema de imagem 152, em que os dados de deformação de treinamento 142 são configurados para uso por um modelo heurístico 104 para aumentar a exatidão dos dados de saída 118 gerados pelo modelo heurístico 104.

[000153] Em ainda outro exemplo, o método inclui um em que a etapa de identificar os dados de tensão de treinamento 144 para a estrutura 108 para cada caso de treinamento 136 na pluralidade dos casos de treinamento inclui: identificar os dados de tensão de treinamento 144 para a estrutura 108 para cada caso de treinamento pluralidade dos casos de treinamento 136 usando um sistema sensor 130 associado com a estrutura 108, em que os dados de tensão de treinamento 144 são configurados para uso por um modelo heurístico 104 para aumentar a exatidão dos dados de saída 118 gerados pelo modelo heurístico 104.

[000154] Em uma variação, o método inclui ainda: identificar os dados ambientais de treinamento para a estrutura 108 para cada caso de treinamento na pluralidade dos casos de treinamento 136, em que os dados ambientais de treinamento são configurados para uso pelo modelo heurístico 104 para aumentar a exatidão dos dados de saída 118 gerados pelo modelo heurístico 104; e em que a etapa de ajustar um grupo de parâmetros 121 para o modelo heurístico 104 usando os dados de deformação de treinamento 142 e os dados de tensão de treinamento 144 para cada caso de treinamento na pluralidade dos casos de treinamento 136 inclui: ajustar o grupo de parâmetros 121

para o modelo heurístico 104 usando os dados de deformação de treinamento 142 , os dados de tensão de treinamento 144, e os dados ambientais de treinamento para cada caso de treinamento na pluralidade dos casos de treinamento 136 de modo que o modelo heurístico 104 seja treinado para gerar os dados de deformação estimada 124 para a estrutura 108 com base nos dados de tensão de entrada 126 em que os dados de deformação estimada 124 tenham um nível de exatidão desejado.

[000155] Em uma variação, o método inclui ainda: deformar a estrutura 108 em uma forma deformada 118 correspondendo a um caso de treinamento na pluralidade dos casos de treinamento 136; e gerar dados de tensão 128 para a estrutura 108 quando a estrutura 108 tem a forma deformada 116. Em outra variação, o método inclui um em que a etapa de deformar a estrutura 108 na forma deformada 116 correspondendo ao caso de treinamento na pluralidade dos casos de treinamento 136 inclui: fornecer uma pluralidade de cargas selecionadas a uma pluralidade de pontos 148 na estrutura 108 de modo que a estrutura 108 se deforme na forma deformada 116 correspondendo ao caso de treinamento na pluralidade dos casos de treinamento 136.

[000156] Em um exemplo, o método inclui um em que o modelo heurístico 104 inclui ao menos um de uma rede neural, um algoritmo com base em aprendizagem, um modelo de regressão, uma máquina de vetor de suporte, um modelo de ajuste de dados, um modelo de reconhecimento de padrões, e inteligência artificial. Em outro exemplo, o método inclui um em que a estrutura é uma antena com arranjo em fase 212 configurada para se associar a uma aeronave e em que a estrutura 108 se deforma enquanto a aeronave estiver em vôo de modo que a forma 112 da antena com arranjo em fase 212 mude de uma forma de referência 114 para uma forma deformada

116.

[000157] Em um aspecto, o método é revelado para gerenciar um desempenho de uma estrutura 108, o método incluindo: identificar os dados de deformação de treinamento 142 e os dados de tensão de treinamento 144 para a estrutura 108 para cada caso de treinamento em uma pluralidade dos casos de treinamento 136, em que cada caso de treinamento é configurado para uso por um modelo heurístico 104 para aumentar a exatidão dos dados de saída 118 gerados pelo modelo heurístico 104 e em que a estrutura 108 é configurada para se associar à plataforma 110; ajustar um grupo de parâmetros 121 para o modelo heurístico 104 usando os dados de deformação de treinamento 142 e os dados de tensão de treinamento 144 para cada caso de treinamento na pluralidade dos casos de treinamento 136 de modo que o modelo heurístico 104 seja treinado para gerar dados de deformação estimada 124 para a estrutura 108 com base nos dados de tensão de entrada 126 em que os dados de deformação estimada 124 tenham um nível de exatidão desejado; gerar dados de tensão 128 para a estrutura 108 usando um sistema sensor 130 associado com a estrutura 108 durante a operação de uma plataforma 110 quando a estrutura 108 está associada com a plataforma 110; gerar dados de deformação estimada 124 para a estrutura 108 usando um modelo heurístico 104 e os dados de tensão 128 como os dados de tensão de entrada 126 para o modelo heurístico 104; e ajustar um grupo de parâmetros de controle 115 para a estrutura 108 usando os dados de deformação estimada 124 gerados pelo modelo heurístico 104 gerados pelo de modo que a estrutura 108 tenha um nível de desempenho desejado de modo que a estrutura 108 durante a operação da plataforma 110.

[000158] Em outra variação, o método inclui ainda: selecionar uma combinação de sensores para o sistema sensor 130, em que a

selecionada combinação dos sensores tem um número mínimo de sensores necessários para o modelo heurístico 104 gerar os dados de deformação estimada 124 com um nível desejado de exatidão e para a estrutura 108 ter um nível de desempenho desejado durante a operação da plataforma 110 quando os dados de deformação estimada 124 são usados para ajustar o grupo dos parâmetros de controle 115.

[000159] Em um aspecto, um aparelho é revelado incluindo: um modelo heurístico 104 configurado para gerar dados de deformação estimada 124 para uma estrutura 108 com base nos dados de tensão de entrada 126; e um treinador 102 configurado para identificar os dados de deformação de treinamento 142 e os dados de tensão de treinamento 144 para cada caso de treinamento em uma pluralidade dos casos de treinamento 136 e treinar o modelo heurístico 104 usando os dados de deformação de treinamento 142 e os dados de tensão de treinamento 144 identificados para cada caso de treinamento na pluralidade dos casos de treinamento 136 de modo que o modelo heurístico 104 gera os dados de deformação estimada 124 para a estrutura 108 com base nos dados de tensão de entrada 126 na qual os dados de deformação estimada 124 têm um nível desejado de exatidão.

[000160] Em uma variação, o aparelho pode ser um em que o treinador 102 é configurado para receber dados de tensão de treinamento 144 para cada caso de treinamento na pluralidade dos casos de treinamento 136 de um sistema sensor 130 associado com a estrutura 108 na qual o sistema sensor 130 inclui uma pluralidade de sensores posicionados em um pluralidade de pontos 148 na estrutura 108 na qual a pluralidade sensores é configurada para gerar uma pluralidade de medidas de tensão para a pluralidade de pontos 148 na estrutura 108. Em ainda outra variação, o aparelho pode ser um em

que o modelo heurístico 104 é configurado para se ajustar a um grupo de parâmetros 121 para o modelo heurístico 104 usando os dados de deformação de treinamento 142 e os dados de tensão de treinamento 144 para cada caso de treinamento na pluralidade dos casos de treinamento 136 de modo que os dados de deformação estimada 124 gerados pelo modelo heurístico com base nos dados de tensão têm um nível desejado de exatidão.

[000161] Em ainda outra variação, o aparelho pode ser um em que o modelo heurístico 104 inclui ao menos um dentre uma rede neural, um algoritmo com base em aprendizagem, um modelo de regressão, uma máquina de vetor de suporte, um modelo de ajuste de dados, um modelo de reconhecimento de padrões, e inteligência artificial. Em um exemplo, o aparelho pode ser um em que a estrutura 108 é associada a uma plataforma 110 e em que os dados de deformação estimada 124 gerados pelo modelo heurístico 104 são usados para ajustar um grupo de parâmetros de controle 115 para a estrutura 108 durante a operação da plataforma 110 de modo que a estrutura 108 tem um nível desejado de desempenho durante a operação da plataforma 110.

[000162] A descrição das diferentes modalidades ilustrativas foi apresentada com o objetivo de ilustração e descrição, e não pretende ser exaustiva ou limitada às modalidades na forma divulgada. Muitas variações e modificações serão evidentes aos especialistas medianos na técnica. Ainda, as diferentes modalidades ilustrativas podem fornecer características diferentes quando comparadas a outras modalidades ilustrativas. A modalidade ou modalidades selecionadas são escolhidas e descritas para melhor explicar os princípios das modalidades, a aplicação prática, e para possibilitar a outros especialistas medianos na técnica entender a divulgação para várias modalidades com várias modificações como adequadas ao uso particular contemplado.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para identificar deformação de uma estrutura (108), a estrutura sendo fisicamente associada com uma plataforma, o método **caracterizado pelo** fato de que compreende:

identificar dados de deformação de treinamento (142) para a estrutura (108) para cada caso de treinamento em uma pluralidade dos casos de treinamento (136), em que os dados de deformação de treinamento (142) são configurados para uso por um modelo heurístico (104) para aumentar a exatidão dos dados de saída (118) gerados pelo modelo heurístico (104);

identificar dados de tensão de treinamento (144) para a estrutura (108) para cada caso de treinamento na pluralidade dos casos de treinamento (136), em que dados de tensão de treinamento (144) são configurados para uso pelo modelo heurístico (104) para aumentar a exatidão dos dados de saída (118) gerados pelo modelo heurístico (104); e

ajustar um grupo de parâmetros (121) para o modelo heurístico (104) usando os dados de deformação de treinamento (142) e os dados de tensão de treinamento (144) para cada caso de treinamento na pluralidade dos casos de treinamento (136) de modo que o modelo heurístico (104) é treinado para gerar dados de deformação estimada (124) para a estrutura (108) com base nos dados de tensão de entrada (126), ainda compreendendo:

gerar dados de tensão, compreendendo um pluralidade de medições de tensão, para a estrutura durante operação da plataforma usando um sistema sensor posicionado em uma pluralidade de pontos na estrutura, na qual a pluralidade de sensores é configurada para gerar a pluralidade de medições de tensão para a pluralidade de pontos na estrutura;

gerar os dados de deformação estimada (124) para a

estrutura (108) usando o modelo heurístico (104) e os dados de tensão estimados (128) como os dados de tensão de entrada (126) para o modelo heurístico (104), e dados de tensão de entrada (126) adicionais para o modelo heurístico (104); e

ajustar um grupo de parâmetros de controle (115) para a estrutura (108) usando os dados de deformação estimada gerados pelo modelo heurístico (104) de modo que os dados de deformação estimada (124) tenha um nível desejado de exatidão necessário de modo que a estrutura (108) possua um nível de desempenho durante a operação da plataforma (110) usando os dados de deformação estimada (124) gerados pelo modelo heurístico (104); em que o nível de exatidão desejado compreende um nível de exatidão quando uma diferença entre um grupo de parâmetros de desempenho para a estrutura com base em ajustes ao grupo de parâmetros de controle, identificados usando os dados de deformação estimada, e o grupo de parâmetros de desempenho para a estrutura baseada em ajustes ao grupo de parâmetros de controle, identificados usando os dados de deformação real (108), estão dentro das tolerâncias selecionadas.

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** fato de que a etapa de identificar os dados de tensão de treinamento (144) para a estrutura (108) para cada caso de treinamento (136) na pluralidade dos casos de treinamento compreende:

identificar os dados de tensão de treinamento (144) para a estrutura (108) para cada caso de treinamento na pluralidade dos casos de treinamento (136), usando um sistema sensor (130) associado com a estrutura (108), em que os dados de tensão de treinamento (144) são configurados para uso pelo modelo heurístico (104) para aumentar a exatidão dos dados de saída (118) gerados pelo modelo heurístico (104).

3. Método, de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado pelo** fato de que compreende ainda:

selecionar uma combinação de sensores para o sistema sensor (130), em que a combinação selecionada dos sensores tem um número mínimo de sensores necessários para o modelo heurístico (104) gerar os dados de deformação estimada (124) com um nível desejado de exatidão e para a estrutura (108) ter um nível desejado de desempenho durante a operação da plataforma (110) quando os dados de deformação estimada (124) são usados para ajustar o grupo dos parâmetros de controle (115).

4. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, **caracterizado pelo** fato de que a etapa de identificar os dados de deformação estimada (142) para a estrutura (108) para cada caso de treinamento na pluralidade dos casos de treinamento (136) compreende:

identificar os dados de deformação para treinamento (142) para a estrutura (108) para cada caso de treinamento na pluralidade dos casos de treinamento (136) usando dados de imagem (150) gerados por um sistema de imagem (152), em que os dados de deformação de treinamento (142) são configurados para uso por um modelo heurístico (104) para aumentar a exatidão dos dados de saída (118) gerados pelo modelo heurístico (104) que compreende ao menos um dentre uma rede neural, um algoritmo com base em aprendizagem, um modelo de regressão, uma máquina de vetor de suporte, um modelo de ajuste de dados, um modelo de reconhecimento de padrões, e inteligência artificial.

5. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, **caracterizado pelo** fato de que compreende ainda:

identificar os dados ambientais de treinamento para a estrutura (108) para cada caso de treinamento na pluralidade dos

casos de treinamento (136), em que os dados ambientais de treinamento são configurados para uso pelo modelo heurístico (104) para aumentar a exatidão dos dados de saída (118) gerados pelo modelo heurístico (104); e

em que a etapa de ajustar o grupo de parâmetros (121) para o modelo heurístico (104) usando os dados de deformação de treinamento (142) e os dados de tensão de treinamento (144) para cada caso de treinamento na pluralidade dos casos de treinamento (136) compreende:

ajustar o grupo de parâmetros (121) para o modelo heurístico (104) usando os dados de deformação de treinamento (142), os dados de tensão de treinamento (144), e os dados ambientais para treinamento para cada caso de treinamento na pluralidade dos casos de treinamento (136) de modo que o modelo heurístico (104) seja treinado para gerar os dados de deformação estimada (124) para a estrutura (108) com base nos dados de tensão de entrada (126) em que os dados de deformação estimada (124) tenham um nível de exatidão desejado.

6. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** fato de que compreende:

deformar a estrutura (108) em uma forma deformada (116) correspondendo a um caso de treinamento na pluralidade dos casos de treinamento (136) incluindo aplicar uma pluralidade de cargas selecionadas a uma pluralidade de pontos (148) na estrutura (108) de modo que a estrutura (108) se deforme na forma deformada (116) correspondendo ao caso de treinamento na pluralidade dos casos de treinamento (136); e

gerar dados de tensão (128) para a estrutura (108) quando a estrutura (108) tem a forma deformada (116); em que a estrutura (108) é uma antena com arranjo em fase (212) configurada para se

associar com uma aeronave e em que a estrutura (108) se deforma enquanto a aeronave estiver no ar de modo que a forma (112) da antena com arranjo em fase (212) muda de uma forma de referência (114) para uma forma deformada (116).

7. Aparelho, **caracterizado pelo** fato de que compreende:

um modelo heurístico (104) configurado para gerar dados de deformação estimada (124) para a estrutura (108), a estrutura sendo fisicamente associada com uma plataforma com base nos dados de tensão de entrada (126); e

um treinador (102) configurado para identificar os dados de deformação de treinamento (142) e os dados de tensão de treinamento (144) para cada caso de treinamento em uma pluralidade dos casos de treinamento (136) e treinar o modelo heurístico (104) usando os dados de deformação de treinamento (142) e os dados de tensão de treinamento (144) identificados para cada caso de treinamento na pluralidade dos casos de treinamento (136) de modo que o modelo heurístico (104) gera os dados de deformação estimada (124) para a estrutura (108) com base nos dados de tensão de entrada (126);

e em que o treinador (102) é configurado ainda para receber os dados de tensão de treinamento (144) para o cada caso de treinamento na pluralidade de casos de treinamento de um sistema sensor (130) associado com a estrutura (108) em que o sistema sensor (130) compreende uma pluralidade de sensores posicionados em uma pluralidade de pontos (148) na estrutura (108) em que a pluralidade de sensores é configurada para gerar uma pluralidade de medições de tensão para a pluralidade de pontos (148) na estrutura (108);

os dados de deformação estimada (124) para a estrutura (108) são gerados utilizando o modelo heurístico (104) e os dados de

tensão (128) como os dados de entrada (126) para o modelo heurístico (104), e dados de entrada (126) adicionais para o modelo heurístico; e no qual

os dados de deformação estimada (124) gerados pelo modelo heurístico (104) são utilizados para ajustar um grupo de parâmetros de controle (115) para a estrutura (108) durante operação da plataforma (110) de modo que os dados de deformação estimada (124) possuem um nível desejado de exatidão necessário para prover à estrutura (108) um nível de desempenho durante a operação da plataforma (110);

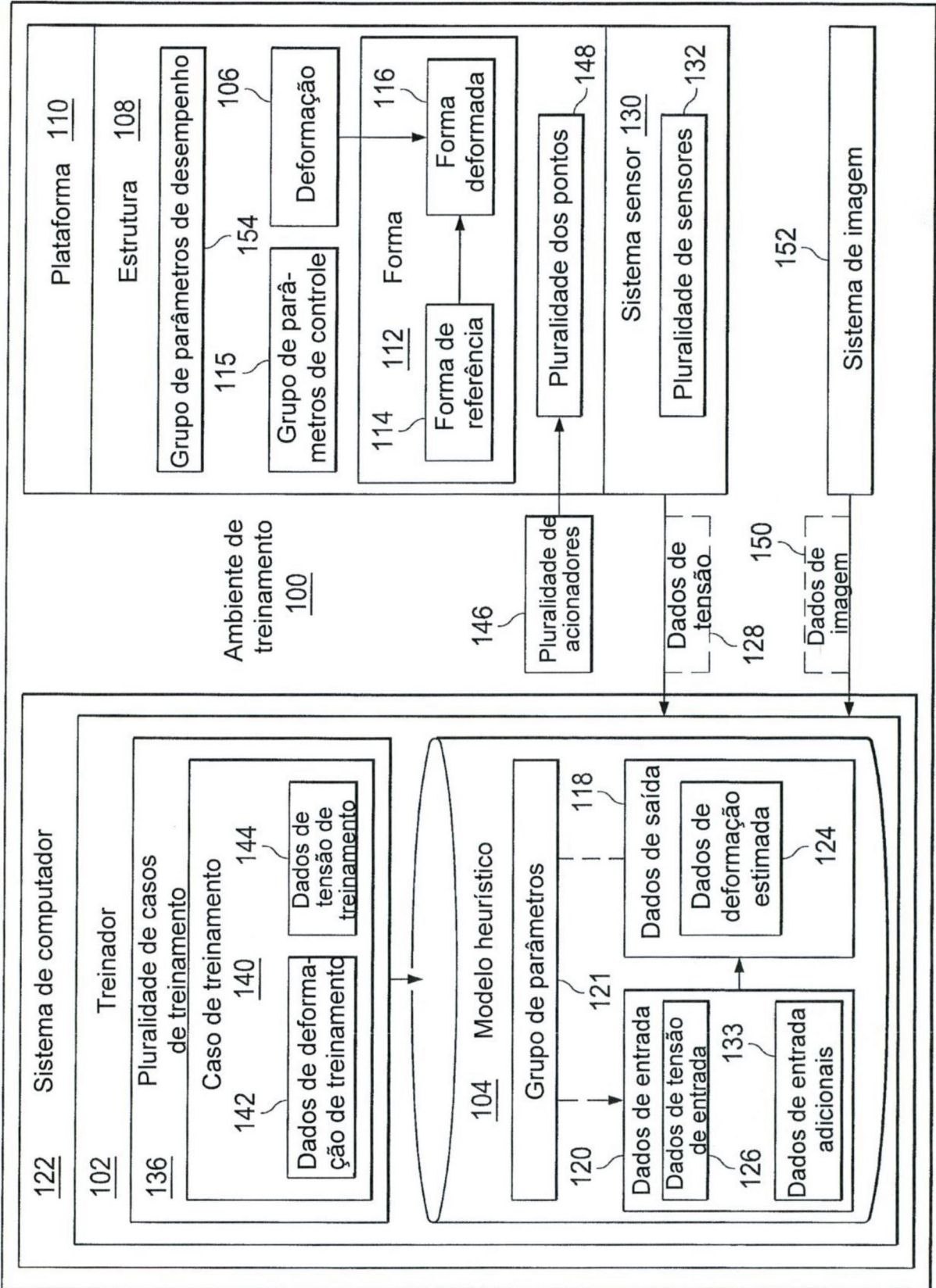
no qual o nível de exatidão desejado compreende um nível de exatidão quando uma diferença entre um grupo de parâmetros de desempenho para a estrutura com base em ajustes ao grupo de parâmetros de controle, identificados usando os dados de deformação estimada, e o grupo de parâmetros de desempenho para a estrutura com base em ajustes aos parâmetros de controle do grupo, identificados usando dados de deformação real (108), estão dentro das tolerâncias selecionadas.

8. Aparelho, de acordo com a reivindicação 7, **caracterizado pelo** fato de que o modelo heurístico (104) é configurado para ajustar um grupo de parâmetros (121) para o modelo heurístico (104) usando os dados de deformação de treinamento (142) e os dados de deformação de tensão (144) para cada caso de treinamento na pluralidade dos casos de treinamento (136) de modo que os dados de deformação estimada (124) gerados pelo modelo heurístico (104) com base nos dados de tensão de entrada (126) tenham um nível de exatidão desejado; e

em que o modelo heurístico (104) compreende pelo menos um dentre uma rede neural, um algoritmo com base em aprendizagem, um modelo de regressão, uma máquina de vetor de suporte, um

modelo de ajuste de dados, um modelo de reconhecimento de padrões, e inteligência artificial.

FIG. 1



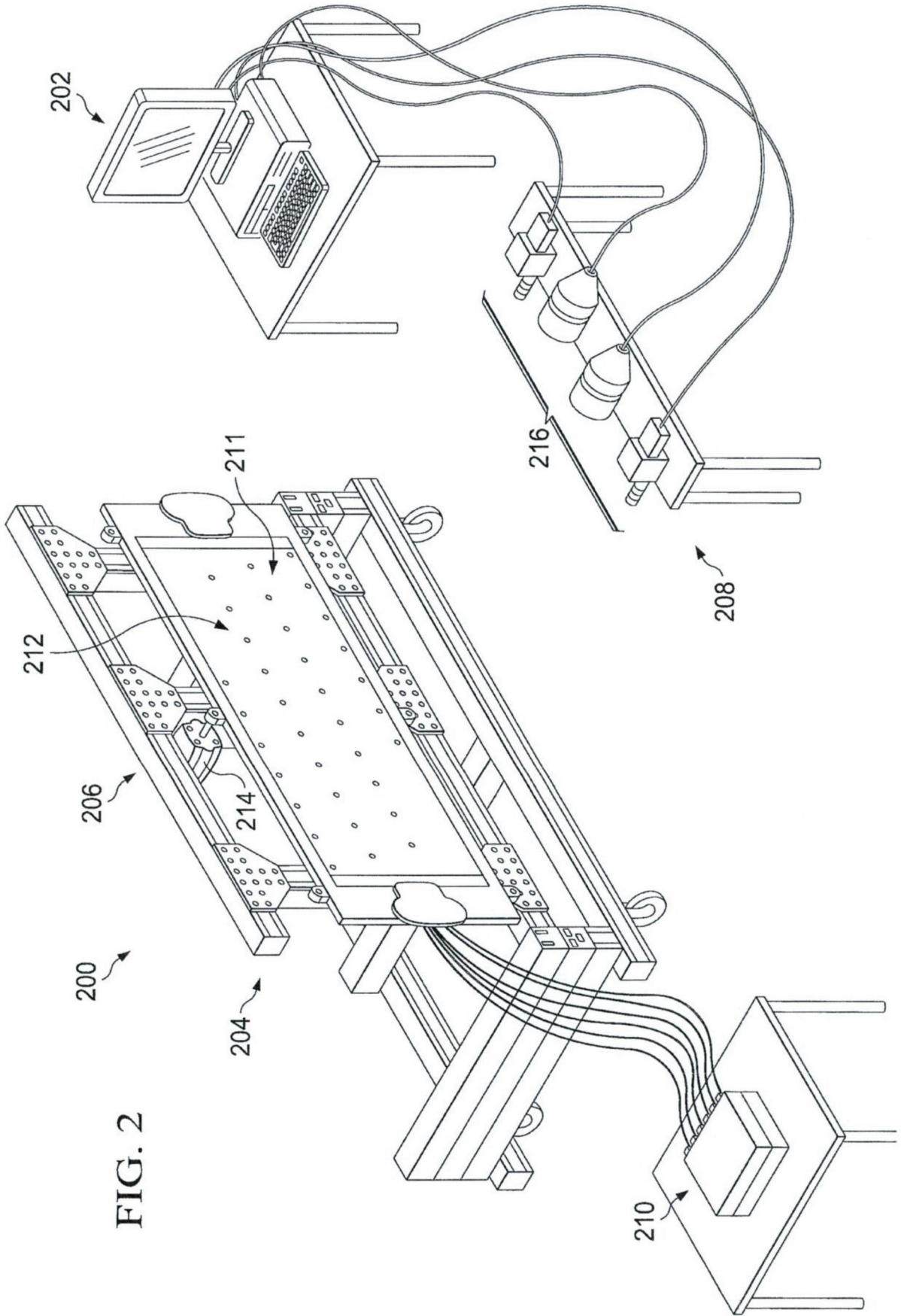


FIG. 2

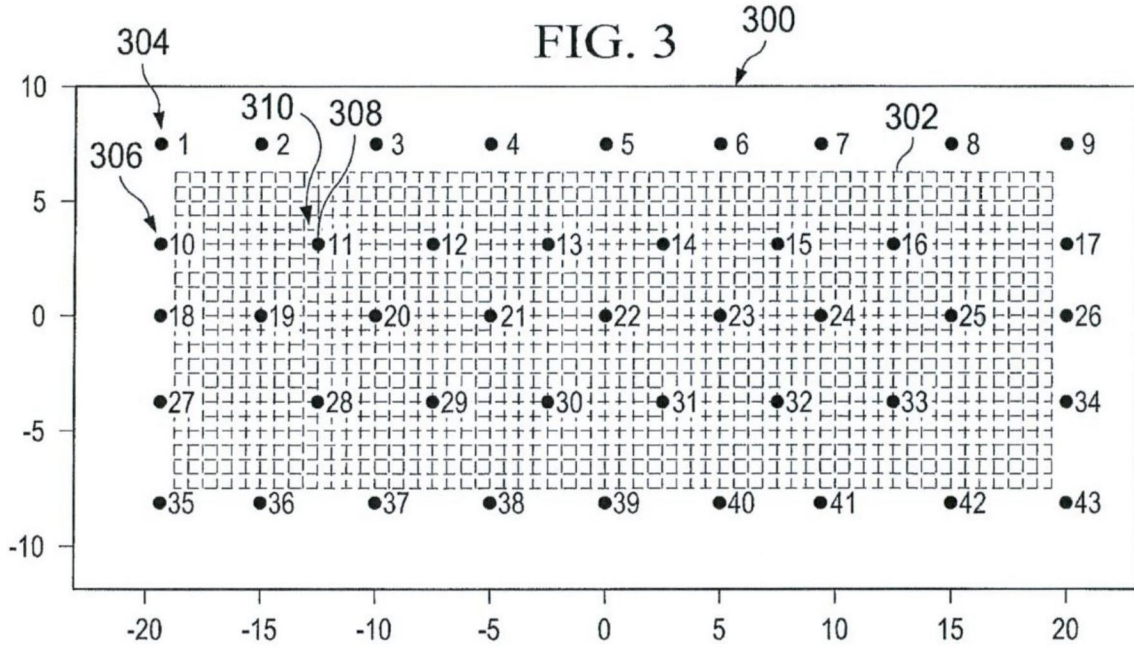


FIG. 4

400

Medidas de deformação estimada					
ID	FORMA A	FORMA B	FORMA C	FORMA D	FORMA E
<u>402</u>	<u>404</u>	<u>406</u>	<u>408</u>	<u>410</u>	<u>412</u>
1	-0.0753	0.0187	-0.0133	0.0657	0.0963
5	-0.3329	-0.0940	0.1483	0.1784	0.3891
9	-0.0102	-0.0189	0.0103	0.0202	0.0308
11	-0.1868	0.0107	0.0093	0.1350	0.2276
16	-0.0904	-0.0577	0.0421	0.0561	0.1087
18	-0.1400	0.1281	-0.1456	0.1740	0.1866
22	-0.1712	-0.0415	0.0563	0.1014	0.2013
26	0.0906	-0.0510	-0.0611	-0.0114	-0.0882
28	-0.1633	0.0971	-0.1031	0.1687	0.2086
32	-0.0258	-0.0486	0.0090	0.0298	0.0381
35	-0.1993	0.2503	-0.3022	0.2925	0.2733
39	-0.0342	-0.0045	0.0019	0.0288	0.0449
43	0.2303	-0.0670	-0.1476	-0.0419	-0.2298

500

FIG. 5

Medidas de deformação real					
ID	FORMAA	FORMA B	FORMA C	FORMAD	FORMA E
<u>502</u>	<u>504</u>	<u>506</u>	<u>508</u>	<u>510</u>	<u>512</u>
1	-0.0773	0.0195	-0.0133	0.0656	0.0939
5	-0.3333	-0.0945	0.1496	0.1780	0.3866
9	-0.0131	-0.0186	0.0127	0.0212	0.0281
11	-0.1882	0.0100	0.0078	0.1362	0.2235
16	-0.0872	-0.0584	0.0456	0.0568	0.1150
18	-0.1427	0.1247	-0.1504	0.1739	0.1767
22	-0.1725	-0.0416	0.0577	0.1021	0.1996
26	0.0943	-0.0478	-0.0531	-0.0110	-0.0779
28	-0.1653	0.0945	-0.1079	0.1685	0.2013
32	-0.0244	-0.0489	0.0132	0.0305	0.0428
35	-0.2023	0.2444	-0.3139	0.2914	0.2577
39	-0.0351	-0.0056	0.0030	0.0293	0.0444
43	0.2360	-0.0668	-0.1396	-0.0471	-0.2101

513

600

FIG. 6

Diferença					
ID	FORMA A	FORMA B	FORMA C	FORMA D	FORMA E
<u>602</u>	<u>606</u>	<u>608</u>	<u>610</u>	<u>612</u>	<u>614</u>
1	0.002	-0.001	0.000	0.000	0.002
5	0.000	0.000	-0.001	0.000	0.002
9	0.003	0.000	-0.002	-0.001	0.003
11	0.001	0.001	0.001	-0.001	0.004
16	-0.003	0.001	-0.003	-0.001	-0.006
18	0.003	0.003	0.005	0.000	0.010
22	0.001	0.000	-0.001	-0.001	0.002
26	-0.004	-0.003	-0.008	0.000	-0.010
28	0.002	0.003	0.005	0.000	0.007
32	-0.001	0.000	-0.004	-0.001	-0.005
35	0.003	0.006	0.012	0.001	0.016
39	0.001	0.001	-0.001	0.000	0.000
43	-0.006	0.000	-0.008	0.005	-0.020

604

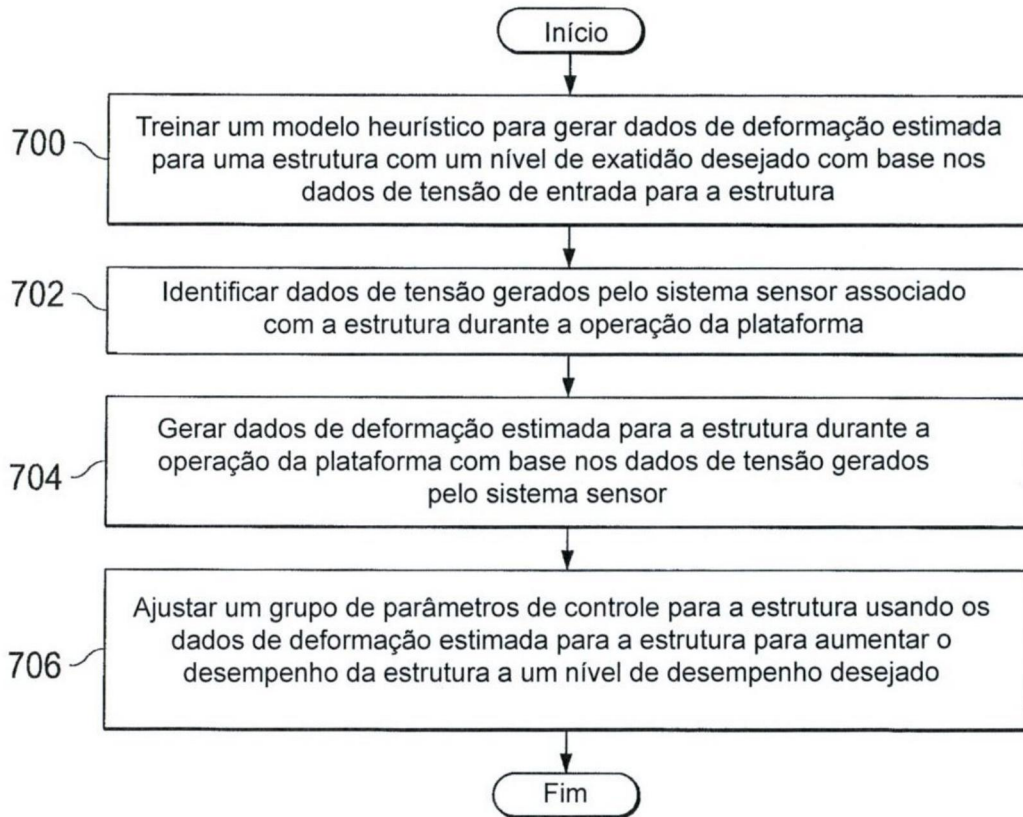


FIG. 7

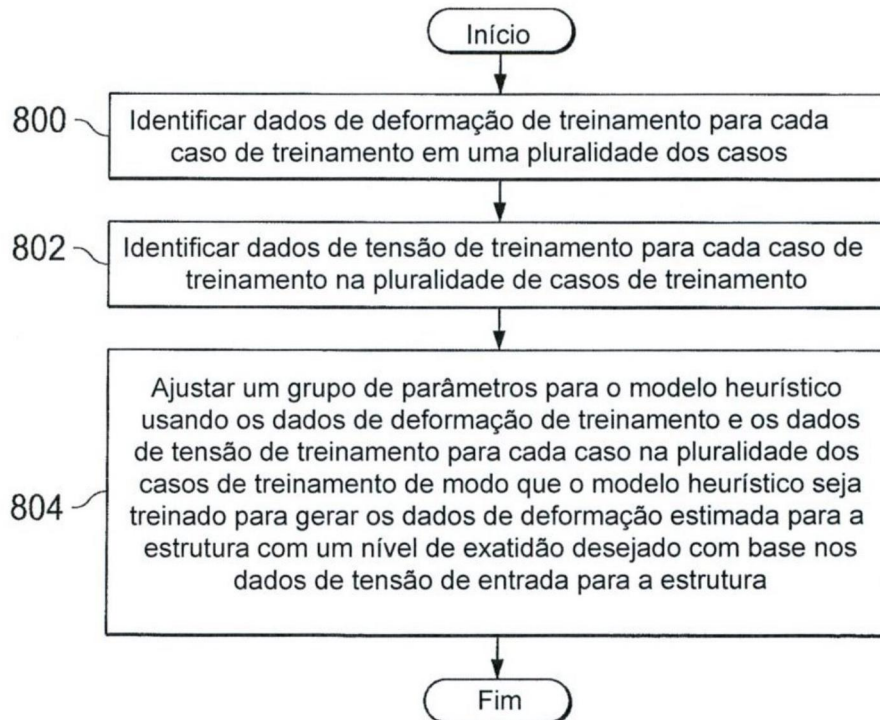
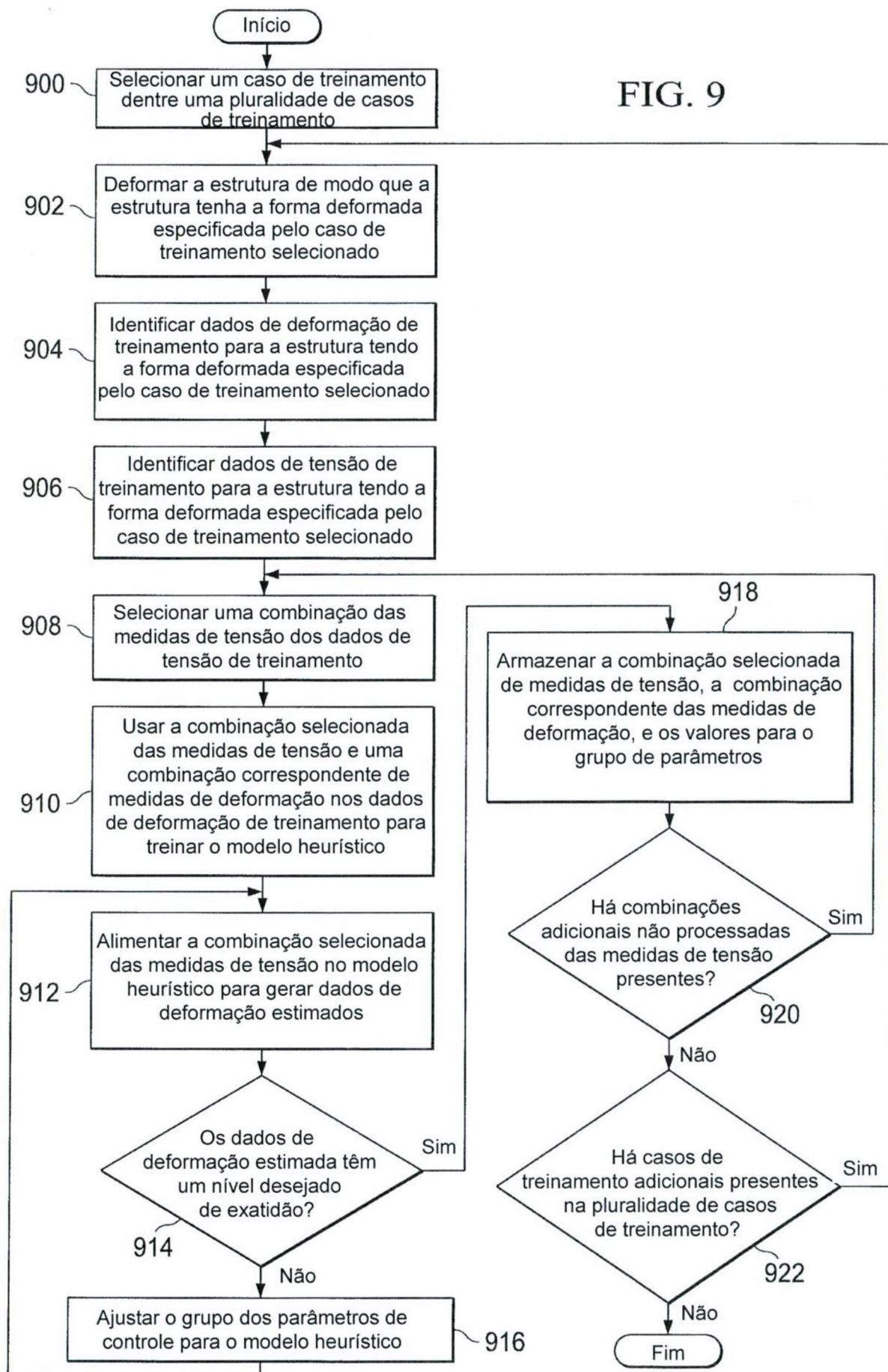


FIG. 8

FIG. 9



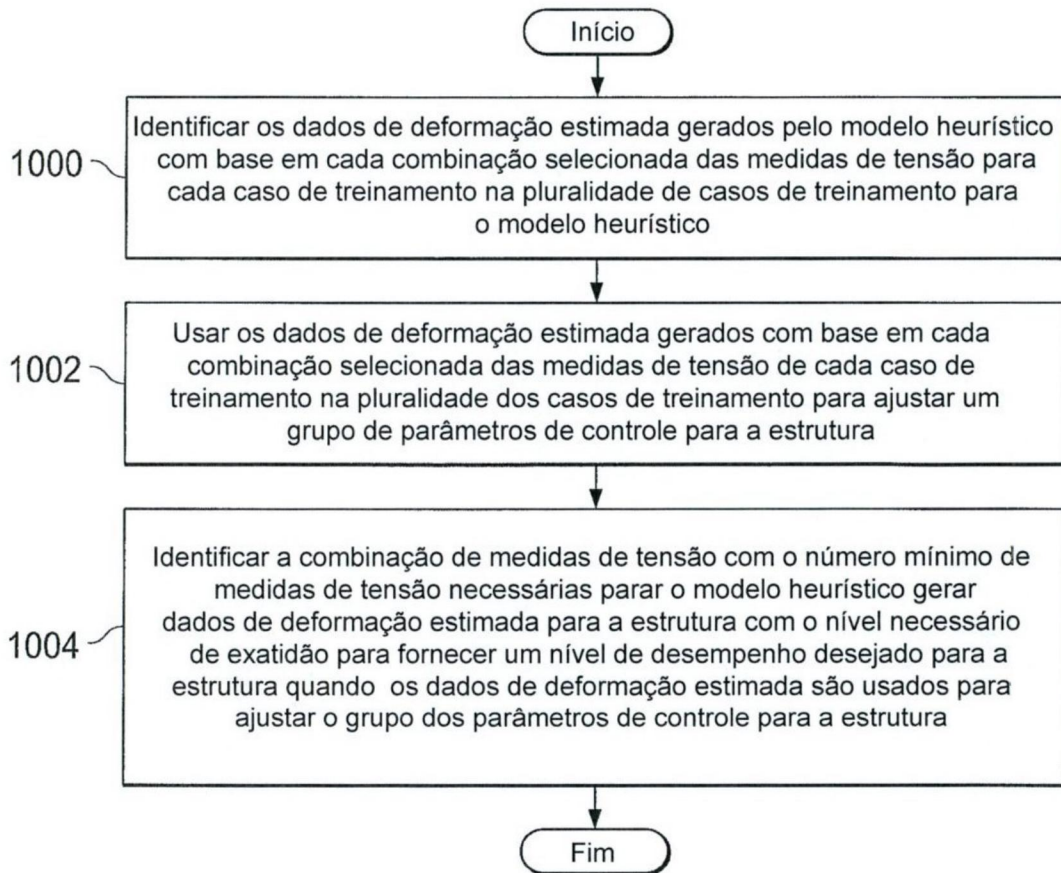


FIG. 10

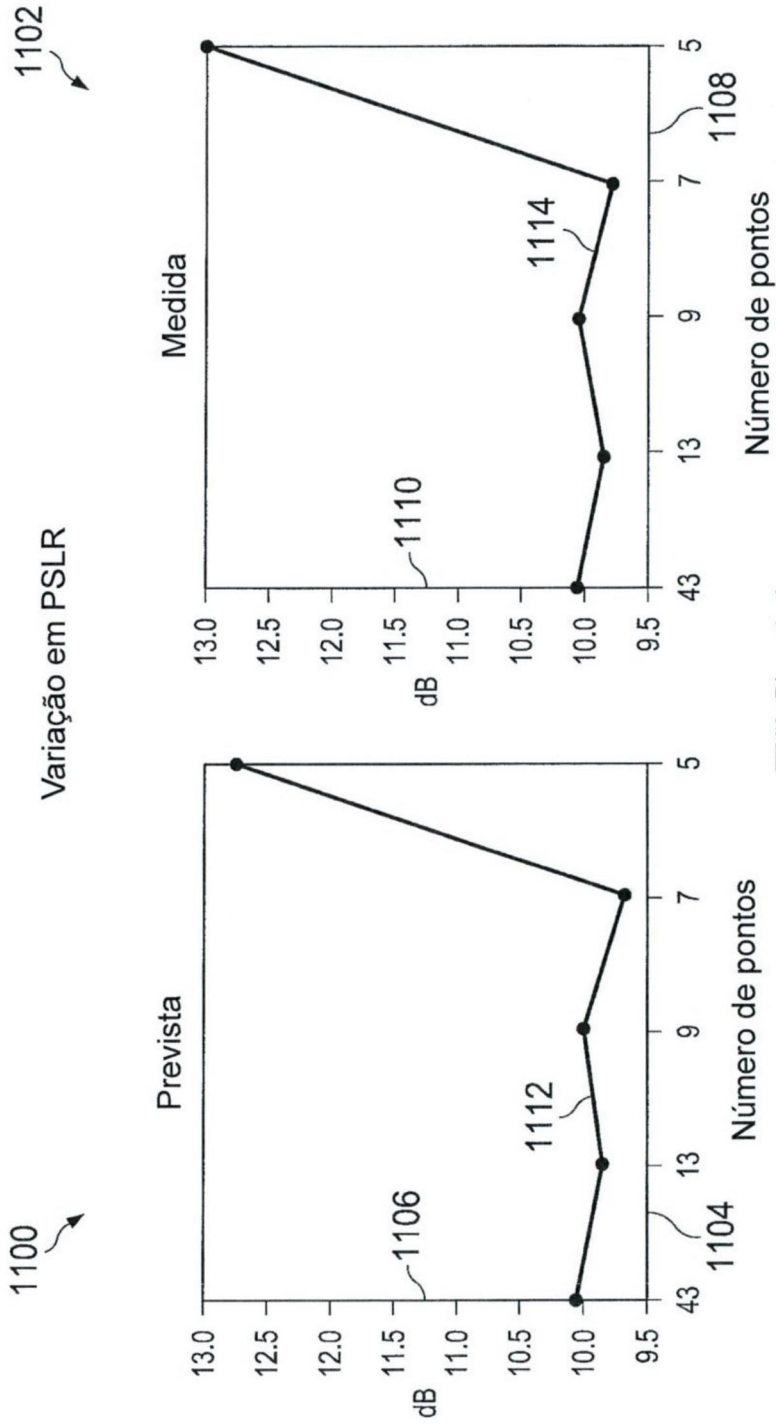


FIG. 11

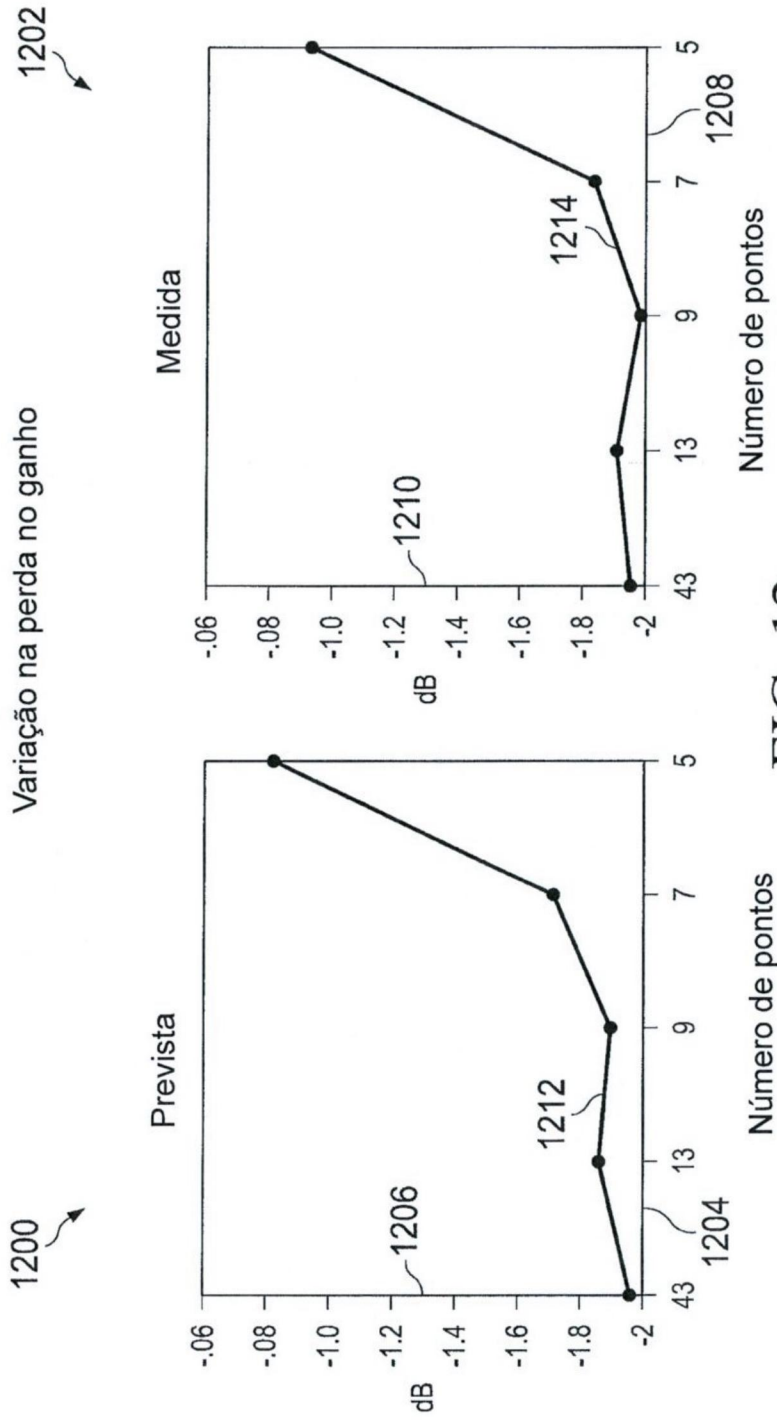


FIG. 12

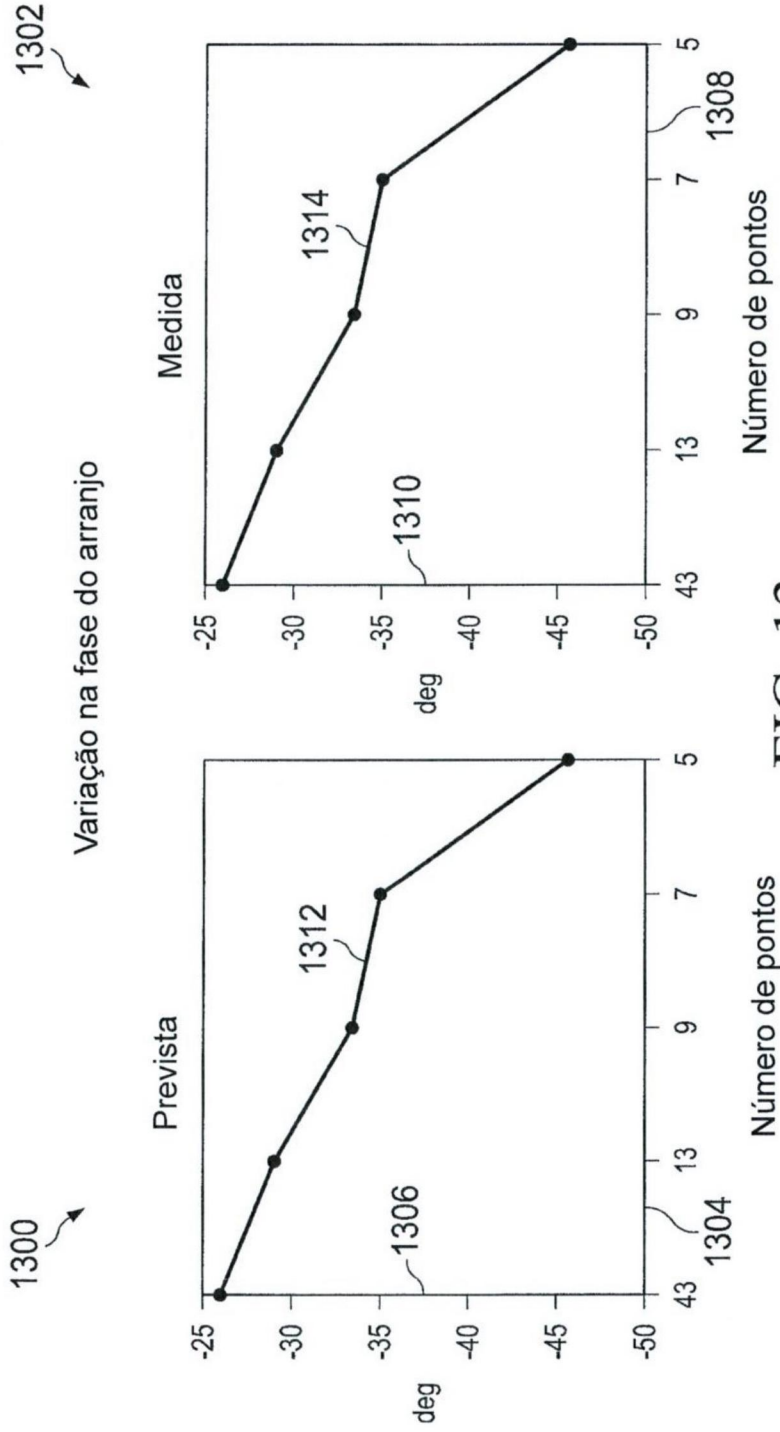


FIG. 13

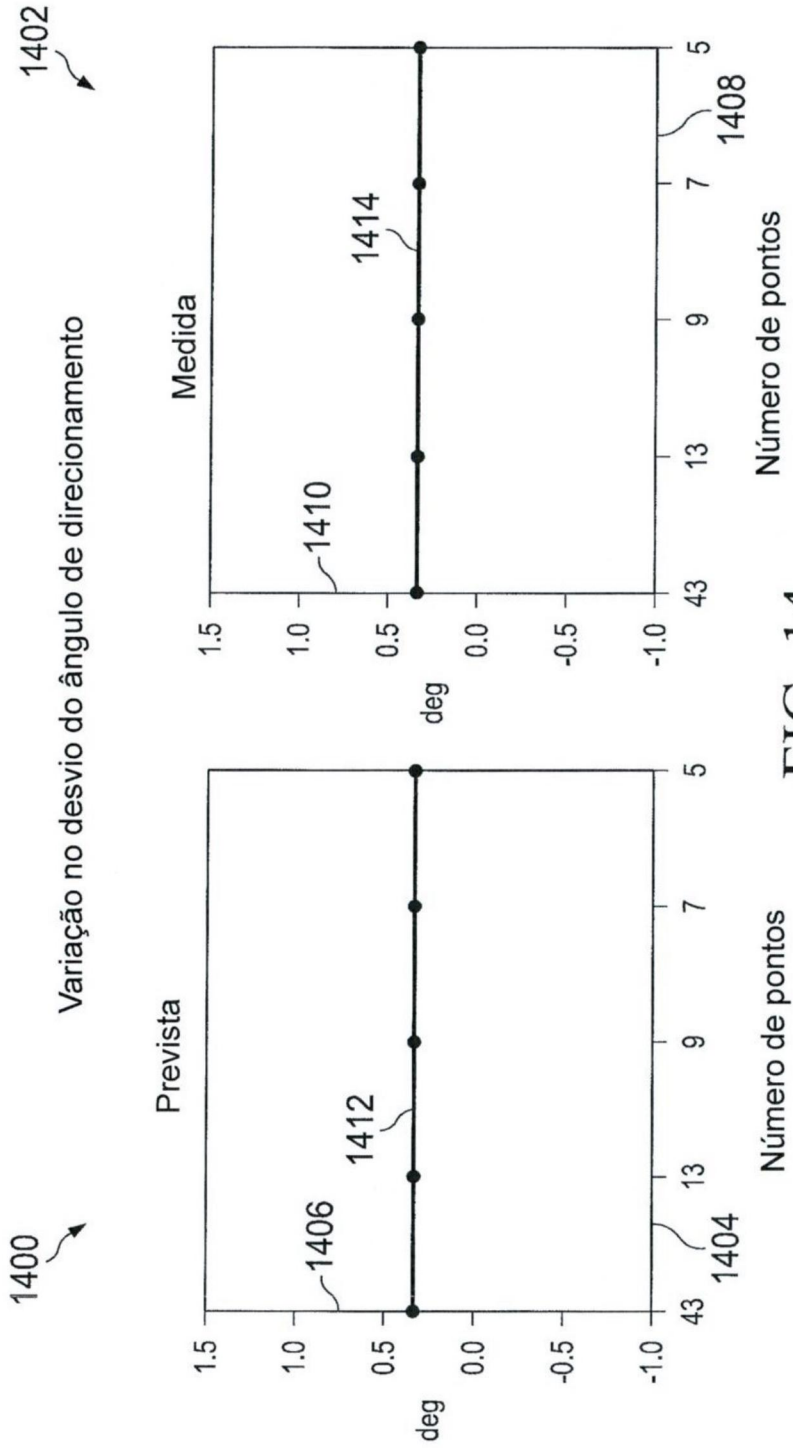


FIG. 14

FIG. 15

