

(12) FASCÍCULO DE PATENTE DE INVENÇÃO

(22) Data de pedido: 2014.04.03	(73) Titular(es): LOCKHEED MARTIN CORPORATION 6801 ROCKLEDGE DRIVE BETHESDA, MARYLAND 20817 US
(30) Prioridade(s): 2013.04.03 US 201361807932 P 2013.04.03 US 201361808066 P 2013.04.03 US 201361808089 P 2013.04.03 US 201361808093 P 2013.04.03 US 201361808101 P	(72) Inventor(es): THOMAS JOHN MCGUIRE US
(43) Data de publicação do pedido: 2016.02.10	(74) Mandatário: ANTÓNIO INFANTE DA CÂMARA TRIGUEIROS DE ARAGÃO RUA DO PATROCÍNIO, Nº 94 1399-019 LISBOA PT
(45) Data e BPI da concessão: 2017.07.19 206/2017	

(54) Epígrafe: **CONFINAMENTO DE PLASMA PARA CAMPO MAGNÉTICO PARA UM REATOR DE FUSÃO COMPACTO**

(57) Resumo:
REATOR (110) DE INFUSÃO QUE INCLUI DUAS BOBINAS (140) MAGNÉTICAS INTERNAS SUSPENSAS DENTRO DE INVÓLUCRO (120), UMA BOBINA (130) MAGNÉTICA CENTRAL, COAXIAL COM AS DUAS BOBINAS (140) MAGNÉTICAS INTERNAS E SITUADA PRÓXIMO A UM PONTO CENTRAL DO INVÓLUCRO, UMA PLURALIDADE DE BOBINAS (150) MAGNÉTICAS ENCERRADAS, COAXIAIS COM AS BOBINAS MAGNÉTICAS INTERNAS, E DUAS BOBINAS (160) MAGNÉTICAS ESPELHADAS, COAXIAIS COM AS BOBINAS MAGNÉTICAS INTERNAS. AS BOBINAS (160) MAGNÉTICAS ENCERRADAS MANTÊM UMA ESTABILIDADE MAGNETO-HIDRODINÂMICA (MHD) DO REATOR DE FUSÃO MANTENDO UMA PAREDE MAGNÉTICA QUE IMPEDE QUE O PLASMA DENTRO DO INVÓLUCRO SE EXPANDA.

RESUMO

“CONFINAMENTO DE PLASMA PARA CAMPO MAGNÉTICO PARA UM REATOR DE FUSÃO COMPACTO”

Reator (110) de infusão que inclui duas bobinas (140) magnéticas internas suspensas dentro de invólucro (120), uma bobina (130) magnética central, coaxial com as duas bobinas (140) magnéticas internas e situada próximo a um ponto central do invólucro, uma pluralidade de bobinas (150) magnéticas encerradas, coaxiais com as bobinas magnéticas internas, e duas bobinas (160) magnéticas espelhadas, coaxiais com as bobinas magnéticas internas. As bobinas (160) magnéticas encerradas mantêm uma estabilidade magneto-hidrodinâmica (MHD) do reator de fusão mantendo uma parede magnética que impede que o plasma dentro do invólucro se expanda.

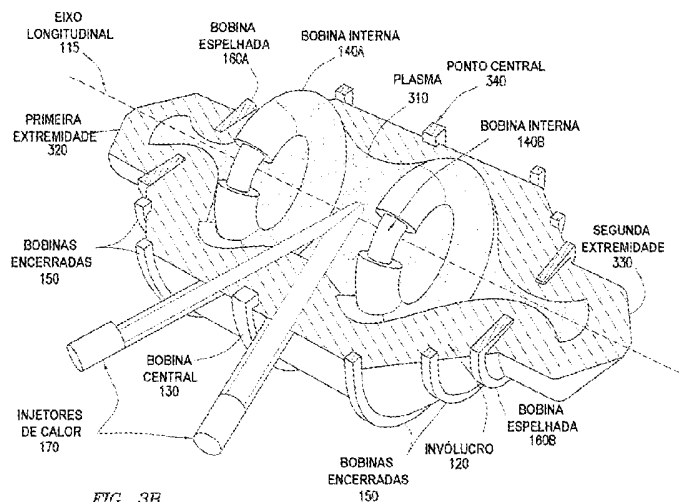


FIG. 3B

DESCRIÇÃO

"CONFINAMENTO DE PLASMA PARA CAMPO MAGNÉTICO PARA UM REATOR DE FUSÃO COMPACTO"

CAMPO TÉCNICO

Esta divulgação refere-se geralmente a reatores de fusão e mais especificamente a confinamento de plasma para campo magnético para energia de fusão compacta.

ANTECEDENTES

A energia de fusão é energia que é gerada através de um processo de fusão nuclear no qual duas ou mais núcleos atômicos colidem a velocidade muito elevada e unem-se para formar um novo tipo de núcleo atômico. Um reator de fusão é um dispositivo que produz energia de fusão confinando e controlando plasma. Reatores de fusão típicos são grandes, complexos, e não podem ser montados sobre um veículo.

A partir do documento US 4252608 A, conhece-se como confinar plasma num dispositivo de conjunto simétrico de três células em tandem. Para aumentar o confinamento do plasma numa célula espelhada central, um mecanismo de bombagem bombeia algumas das partículas carregadas do sinal contrário como aquelas para serem confinadas na célula espelhada central no exterior de uma célula espelhada terminal. O mecanismo de

bombagem pode utilizar um campo magnético pulsado ou um campo elétrico aplicado por uma bobina de indução.

RESUMO DE FORMAS DE REALIZAÇÃO PARTICULARES

Um objetivo da invenção é proporcionar um reator de fusão melhorado. Este objetivo é alcançado pela matéria da reivindicação 1. As reivindicações dependentes descrevem formas de realização vantajosas da invenção.

De acordo com uma forma de realização, um reator de fusão inclui duas bobinas magnéticas internas suspensas dentro de um invólucro, uma bobina magnética central coaxial com as duas bobinas magnéticas internas e situada próximo de um ponto central do invólucro, uma pluralidade de bobinas magnéticas encerradas, coaxiais com as bobinas magnéticas internas, e duas bobinas magnéticas espelhadas, coaxiais com as bobinas magnéticas internas. As bobinas magnéticas encerradas mantêm a estabilidade magneto-hidrodinâmica (MHD) do reator de fusão mantendo uma parede magnética que impede que o plasma dentro do invólucro se expanda.

As vantagens técnicas de determinadas formas de realização podem incluir proporcionar um reator de fusão compacto que é menos complexo e menos dispendioso de construir do que os típicos reatores de fusão. Algumas formas de realização podem proporcionar um reator de fusão que é compacto o suficiente para ser montado em ou num veículo, tais como um caminhão, avião, navio, comboio, nave espacial ou submarino. Algumas formas de realização podem proporcionar um reator de fusão que pode ser utilizado em centrais de dessalinização ou centrais de energia

elétrica. Outras vantagens técnicas serão prontamente evidentes para um especialista na técnica a partir das seguintes figuras, descrições e reivindicações. Além disso, enquanto vantagens específicas foram enumeradas acima, várias formas de realização podem incluir todas, algumas ou nenhuma das vantagens enumeradas.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

FIG. 1 ilustra aplicações exemplificativas para reatores de fusão de acordo com determinadas formas de realização.

FIG. 2 ilustra um sistema aeronáutico exemplificativo que utiliza reatores de fusão de acordo com determinadas formas de realização.

FIG. 3A e 3B ilustram um reator de fusão exemplificativo de acordo com determinadas formas de realização.

FIG. 4 ilustra uma vista simplificada das bobinas e sistemas exemplificativos para alimentar as bobinas do reator de fusão das FIG. 3A e 3B de acordo com determinadas formas de realização.

FIG. 5 ilustra plasma dentro do reator de fusão das FIG. 3A e 3B de acordo com determinadas formas de realização.

FIG. 6 ilustra campos magnéticos do reator de fusão das FIG. 3A e 3B de acordo com determinadas formas de realização.

FIG. 7 ilustra uma bobina interna do reator de fusão das FIG. 3A e 3B de acordo com determinadas formas de realização.

FIG. 8 ilustra uma vista em corte do invólucro do reator de fusão das FIG. 3A e 3B de acordo com determinadas formas de realização.

FIG. 9 ilustra um sistema computadorizado exemplificativo de acordo com determinadas formas de realização.

DESCRIÇÃO DE FORMAS DE REALIZAÇÃO EXEMPLIFICATIVAS

Os reatores de fusão geram energia confinando e controlando plasma que é utilizado num processo de fusão nuclear. Tipicamente, os reatores de fusão são dispositivos extremamente grandes e complexos. Devido aos seus grandes tamanhos proibitivos, estes não são adequados para serem montados em típicos reatores de fusão sobre veículos. Em resultado, a utilidade de reatores de fusão típicos é limitada.

Os ensinamentos da divulgação reconhecem que é desejável proporcionar um reator de fusão compacto que seja pequeno o suficiente para ser montado sobre ou em veículos, tais como camiões, comboios, aviões, navios, submarinos, naves espaciais, e semelhantes. Por exemplo, pode ser desejável proporcionar reatores de fusão compactos montados sobre camiões que podem proporcionar um sistema de alimentação de energia elétrica descentralizado. Como outro exemplo, pode ser desejável proporcionar um reator de fusão compacto para aviões que aumente muito o alcance e tempo de funcionamento dos aviões. Além disso,

pode ser desejável proporcionar um reator de fusão que possa ser utilizado em centrais elétricas e centrais de dessalinização. O que se segue descreve um reator de fusão de anel linear de ponto de reversão encerrado para proporcionar estes e outros benefícios desejados associados com reatores de fusão compactos.

A **FIGURA 1** ilustra aplicações de um reator 110 de fusão, de acordo com determinadas formas de realização. Como um exemplo, uma ou mais formas de realização de reator 110 de fusão são utilizadas por aviões 101 para fornecer calor a um ou mais motores (e. g., turbinas) de aviões 101. Um exemplo específico de utilização de um ou mais reatores 110 de fusão em aviões é discutido em mais detalhe abaixo com referência à FIGURA 2. Noutro exemplo, uma ou mais formas de realização de reator 110 de fusão são utilizadas num navio 102 para fornecer energia elétrica e de propulsão. Enquanto que o transporte de aviões é ilustrado para navio 102 na FIGURA 1, qualquer tipo de navio (e. g., um navio de carga, um navio de cruzeiro, etc.) pode utilizar uma ou mais formas de realização de reator 110 de fusão. Como outro exemplo, uma ou mais formas de realização de reator 110 de fusão podem ser montadas num camião 103 de caixa aberta de modo a proporcionar energia descentralizada ou para fornecer energia a áreas remotas que necessitam de eletricidade. Como outro exemplo, uma ou mais formas de realização de reator 110 de fusão podem ser utilizadas por uma central 104 de produção energia elétrica de modo a proporcionar eletricidade a uma rede elétrica. Enquanto específicas aplicações para reator 110 de fusão são ilustradas na FIGURA 1, a divulgação não está limitada às aplicações ilustradas. Por exemplo, o reator 110 de fusão pode ser utilizado noutras aplicações, tais como comboios, centrais de dessalinização, naves espaciais, submarinos, e semelhantes.

Em geral, o reator 110 de fusão é um dispositivo que gera energia, confinando e controlando plasma que é utilizado num processo de fusão nuclear. O reator 110 de fusão gera uma grande quantidade de calor a partir do processo de fusão nuclear que pode ser convertido em várias formas de energia. Por exemplo, o calor gerado pelo reator 110 de fusão pode ser utilizado para produzir vapor para acionar uma turbina e um gerador elétrico, produzindo, desse modo, eletricidade. Como outro exemplo, como posteriormente discutido abaixo com referência à FIGURA 2, o calor gerado pelo reator 110 de fusão pode ser utilizado diretamente por uma turbina de um motor turboventilador ou do tipo fanjet de aviões em vez de uma câmara de combustão.

O reator 110 de fusão pode ser dimensionado para possuir qualquer saída desejada para qualquer aplicação desejada. Por exemplo, uma forma de realização de reator 110 de fusão pode ser, aproximadamente, 10 m x 7 m e pode possuir uma saída de calor em bruto de, aproximadamente, 100 MW. Noutras formas de realização, o reator 110 de fusão pode ser maior ou menor dependendo da aplicação e pode possuir uma maior ou menor saída de calor. Por exemplo, o reator 110 de fusão pode ser dimensionado no tamanho de modo a possuir uma saída de calor em bruto de mais de 200 MW.

A **FIGURA 2** ilustra um exemplo de sistema 200 aeronáutico que utiliza um ou mais reatores 110 de fusão, de acordo com determinadas formas de realização. O sistema 200 aeronáutico inclui um ou mais reatores 110 de fusão, um processador 210 de combustível, um ou mais unidades 220 de energia auxiliares (APU), e um ou mais turboventiladores 230. Os reatores 110 de fusão fornecem refrigerante 240 quente aos turboventiladores 230

(e. g., diretamente ou por meio de processador 210 de combustível) utilizando uma ou mais linhas de transmissão de calor. Em algumas formas de realização, o refrigerante 240 quente é FLiBe (*i. e.*, uma mistura de fluoreto de lítio (LiF) e fluoreto de berílio (BeF₂)) ou LiPb. Em algumas formas de realização, o refrigerante 240 quente é, além disso, fornecido aos APU 220. Quando utilizados por turboventiladores 240, o retorno de refrigerante 250 é alimentado de volta aos reatores 110 de fusão para serem aquecidos e utilizados novamente. Em algumas formas de realização, o retorno de refrigerante 250 é alimentado diretamente aos reatores 110 de fusão. Em algumas formas de realização, o retorno de refrigerante 250 pode, além disso, ser fornecido a reatores 110 de fusão a partir de APU 220.

Em geral, o sistema 200 aeronáutico utiliza um ou mais reatores 110 de fusão de modo a proporcionar calor por meio de refrigerante 240 quente para turboventiladores 230. Tipicamente, um turboventilador utiliza uma câmara de combustão que queima combustível para reatores de modo a aquecer o ar que entra, produzindo, desse modo, propulsão. No sistema 200 aeronáutico, contudo, as câmaras de combustão de turboventiladores 230 foram substituídas por permutadores de calor que utilizam refrigerante 240 quente proporcionado por um ou mais reatores 110 de fusão de modo a aquecer o ar de que entra. Isto pode proporcionar numerosas vantagens aos turboventiladores típicos. Por exemplo, permitindo que turboventiladores 230 funcionem sem câmaras de combustão que queimam combustível para reatores, a gama de aviões 101 pode ser amplamente estendida. Além disso, reduzindo grandemente ou eliminando a necessidade de combustível para reatores, o custo de funcionamento de aviões 101 pode ser significativamente reduzido.

As **FIGURAS 3A** e **3B** ilustram um reator 110 de fusão que pode ser utilizado no exemplo de aplicações da FIGURA 1, de acordo com determinadas formas de realização. Em geral, o reator 110 de fusão é um reator de fusão de anel linear de ponto de reversão encerrado, no qual bobinas 150 magnéticas encerradas são utilizadas para impedir o plasma, que é gerado bobinas magnéticas que utilizam ponto de reversão interno, de se expandir. Em algumas formas de realização, o reator 110 de fusão inclui um invólucro 120 com um eixo 115 longitudinal que passa através do invólucro 120 como mostrado. Em algumas formas de realização, o invólucro 120 inclui uma câmara de vácuo e possui uma secção transversal como discutido abaixo em referência à FIGURA 7. O reator 100 de fusão inclui bobinas 140 internas (e. g., bobinas 140 e 140a internas, também conhecidas como bobinas de "ponto de reversão"), bobinas 150 encerradas, e bobinas 160 espelhadas (e. g., bobinas 160a e 160b espelhadas). As bobinas 140 internas estão suspensas dentro do invólucro 120 através de quaisquer meios apropriados e estão centradas no eixo 115 longitudinal. As bobinas 150 encerradas estão também centradas no eixo 115 longitudinal e podem ser internas ou externas ao invólucro 120. Por exemplo, as bobinas 150 encerradas podem estar suspensas dentro do invólucro 120, em algumas formas de realização. Noutras formas de realização, as bobinas 150 encerradas podem ser externas ao invólucro 120 como ilustrado nas FIGURAS 3A e 3B.

Em geral, o reator 100 de fusão proporciona energia controlando e confinando plasma 310 dentro do invólucro 120 para um processo de fusão nuclear. As bobinas 140 internas, bobinas 150 encerradas e bobinas 160 espelhadas são alimentadas para formar campos magnéticos os quais confinam plasma 310 a uma

forma, tal como a forma mostrada nas FIGURAS 3B e 5. Determinados gases, tais como gases de deutério e trítio, podem ser então feitos reagir para excitar as partículas as quais aquecem o plasma 310 e as paredes do invólucro 120. O calor gerado pode então ser utilizado, por exemplo, para alimentar veículos. Por exemplo, um metal líquido refrigerante, tais como FLiBe ou LiPb podem transportar calor a partir das paredes do reator 110 de fusão para fora dos motores de um avião. Em algumas formas de realização, as câmaras de combustão em motores de turbina a gás podem ser substituídas com permutadores de calor que utilizam o calor gerado a partir do reator 110 de fusão. Em algumas formas de realização, a energia elétrica também pode ser extraída a partir do reator 110 de fusão por meio de processos de magneto-hidrodinâmica (MHD).

O reator 110 de fusão é um dispositivo de fusão de anel de ponto de reversão linear encerrado. O principal confinamento de plasma é realizado em algumas formas de realização por um anel de ponto de reversão central linear (e. g., bobina 130 central) com duas hastes de ponto de reversão situadas de modo axial em ambos os lados (e. g., bobinas 140 internas). Estas regiões de confinamento são depois encerradas (e. g., com bobinas 150 encerradas) dentro de um campo coaxial em espelho proporcionado pelas bobinas 160 espelhadas.

Os campos magnéticos do reator 110 de fusão são proporcionados por bobinas de campo magnético situadas de modo coaxial de variados tamanhos e tensões. As fugas do anel de ponto de reversão da região central são mitigadas pela recirculação na haste dos pontos de reversão. Este fluxo de recirculação torna-se estável e compacto por campos de encerramento proporcionados por bobinas 150 encerradas. As

perdas de difusão externa e perdas axiais a partir das zonas de confinamento principais são mitigadas pelos fortes campos de espelho do campo de encerramento proporcionado pelas bobinas 150 encerradas. Para funcionar com um dispositivo de produção de energia de fusão, é adicionado calor ao plasma 310 confinado, fazendo com que estes realizem reações de fusão e produza calor. Este calor pode depois ser recolhido para produzir calor, trabalho e/ou energia elétrica, úteis.

O reator 110 de fusão é um melhoramento sobre sistemas existentes, em parte devido à estabilidade MHD global que pode ser conservada e as perdas através de sucessivas zonas de confinamento estarem mais isoladas devido à dispersão de partículas que se deslocam ao longo de linhas nulas. Esta característica significa que partículas que se deslocam ao longo do eixo central não é provável que passem imediatamente para fora do sistema, mas irão demorar muitos eventos de dispersão para deixar o sistema. Isto aumenta o seu tempo de vida no dispositivo, aumentando a capacidade do reator para produzir energia de fusão útil.

O reator 110 de fusão possui novas configurações de campo magnético que exibem estabilidade MHD global, possui perdas mínimas de partículas por meio de linhas de campo abertas, utiliza toda a energia do campo magnético disponível, e possui uma concepção de engenharia muito simplificada. A eficiente utilização dos campos magnéticos significa que as formas de realização divulgadas podem ser na ordem de magnitude inferiores aos sistemas típicos, o que reduz grandemente os custos de investimento de centrais elétricas. Além disso, os custos reduzidos permitem o conceito a ser desenvolvido mais depressa do que cada ciclo de concepção pode ser completado muito mais

rápido do que sistemas típicos. Em geral, as formas de realização divulgadas possuem uma concepção mais simples, mais estável com menor risco físico do que os sistemas existentes.

O invólucro 120 é qualquer câmara ou dispositivo apropriado para conter uma reação de fusão. Em algumas formas de realização, o invólucro 120 é uma câmara de vácuo que tem geralmente a forma cilíndrica. Noutras formas de realização, o invólucro 120 pode ter uma forma que não cilíndrica. Em algumas formas de realização, o invólucro 120 possui um eixo 115 longitudinal que passa num eixo central do invólucro 120 como ilustrado. Em algumas formas de realização, o invólucro 120 possui uma primeira extremidade 320 e uma segunda extremidade 330 que é oposta à primeira extremidade 320. Em algumas formas de realização, o invólucro 120 possui um ponto 340 central que é substancialmente equidistante entre a primeira extremidade 320 e a segunda extremidade 330. Uma secção transversal de uma particular forma de realização do invólucro 120 é discutida abaixo com referência à FIGURA 8.

Algumas formas de realização do reator 110 de fusão podem incluir uma bobina 130 central. A bobina 130 central está geralmente situada próximo do ponto 340 central do invólucro 120. Em algumas formas de realização, a bobina 130 central está centrada sobre um eixo 115 longitudinal e é coaxial com as bobinas 140 internas. A bobina 130 central pode ser interna ou externa do invólucro 120, pode estar situada em qualquer posição apropriada axial em relação ao ponto 340 central, pode possuir qualquer raio apropriado, pode transportar qualquer corrente apropriada e pode possuir qualquer retorno de ampere-espira apropriado.

As bobinas 140 internas são quaisquer bobinas magnéticas apropriadas que estão suspensas ou de outro modo posicionadas dentro do invólucro 120. Em algumas formas de realização, as bobinas 140 internas são bobinas magnéticas supercondutoras. Em algumas formas de realização, as bobinas 140 internas têm a forma toroidal como mostrado na FIGURA 3B. Em algumas formas de realização, as bobinas 140 internas estão centradas sobre o eixo 115 longitudinal. Em algumas formas de realização, as bobinas 140 internas incluem duas bobinas: uma primeira bobina 140a interna que está situada entre o ponto 340 central e a primeira extremidade 320 do invólucro 120, e uma segunda bobina 140b interna que está situada entre o ponto 340 central e a segunda extremidade 330 do invólucro 120. As bobinas 140 internas podem estar situadas em qualquer posição axial apropriada em relação ao ponto 340 central, podem possuir qualquer raio apropriado, podem transportar qualquer corrente apropriada, e podem possuir qualquer retorno de ampere-espira apropriado. Uma particular forma de realização de uma bobina 140 interna é discutida em mais detalhe abaixo com referência à FIGURA 7.

As bobinas 150 encerradas são quaisquer bobinas magnéticas apropriadas e possuem geralmente maiores diâmetros do que as bobinas 140 internas. Em algumas formas de realização, as bobinas 150 encerradas estão centradas sobre o eixo 115 longitudinal e são coaxiais com as bobinas 140 internas. Em geral, as bobinas 150 encerradas encerram bobinas 140 internas e funcionam muito próximo das linhas magnéticas originais das bobinas 140 internas no interior de uma magnetosfera. Juntar estas linhas pode reduzir a extensão das linhas de campo abertas e reduzir perdas por meio de recirculação. As bobinas 150 encerradas também mantêm a estabilidade MHD do reator 110 de

fusão mantendo uma parede magnética que impede o plasma 310 de se expandir. As bobinas 150 encerradas possuem qualquer secção transversal apropriada, tais como quadrada ou redonda. Em algumas formas de realização, as bobinas 150 encerradas estão suspensas dentro do invólucro 120. Noutras formas de realização, as bobinas 150 encerradas podem ser externas ao invólucro 120 como ilustrado nas FIGURAS 3A e 3B. As bobinas 150 encerradas podem estar situadas em qualquer posição axial apropriada em relação ao ponto 340 central, podem possuir qualquer raio apropriado, podem transportar qualquer corrente apropriada, e podem possuir quaisquer retornos de corrente

O reator 110 de fusão pode incluir qualquer número e disposição de bobinas 150 encerradas. Em algumas formas de realização, as bobinas 150 encerradas incluem, pelo menos, uma bobina 150 encerrada posicionada em cada lado do ponto 340 central do invólucro 120. Por exemplo, o reator 110 de fusão pode incluir duas bobinas 150 encerradas: uma primeira bobina 150 encerrada situada entre o ponto 340 central e a primeira extremidade 320 do invólucro 120, e uma segunda bobina 150 encerrada situada entre o ponto 340 central e a segunda extremidade 330 do invólucro 120. Em algumas formas de realização, o reator 110 de fusão inclui um total de dois, quatro, seis, oito ou qualquer outro número par de bobinas 150 encerradas. Em determinadas formas de realização, o reator 110 de fusão inclui um primeiro conjunto de duas bobinas 150 encerradas situadas entre a bobina 140a interna e a primeira extremidade 320 do invólucro 120, e um segundo conjunto de duas bobinas 150 encerradas situadas entre a bobina 140b interna e a segunda extremidade 330 do invólucro 120. Enquanto números e disposições particulares de bobinas 150 encerradas têm sido divulgados, qualquer número e disposição apropriados de

bobinas 150 encerradas pode ser utilizado pelo reator 110 de fusão.

As bobinas 160 espelhadas são bobinas magnéticas que estão geralmente situadas próximo às extremidades do invólucro 120 (*i. e.*, primeira extremidade 320 e segunda extremidade 330). Em algumas formas de realização, as bobinas 160 espelhadas estão centradas sobre o eixo 115 longitudinal e são coaxiais com as bobinas 140 internas. Em geral, as bobinas 160 espelhadas servem para reduzir as perdas do ponto de reversão axial e fazem com que todas as linhas de campo de recirculação satisfaçam uma média β mínima, uma condição que não seja satisfeita por outros esquemas existentes de recirculação. Em algumas formas de realização, as bobinas 160 espelhadas incluem duas bobinas 160 espelhadas: uma primeira bobina 160a espelhada situada próximo da primeira extremidade 320 do invólucro 120, e uma segunda bobina 160b espelhada situada próximo da segunda extremidade 330 do invólucro 120. As bobinas 160 espelhadas podem ser internas ou externas ao invólucro 120, podem estar situadas em qualquer posição axial apropriada em relação ao ponto 340 central, podem possuir qualquer raio apropriado, podem transportar qualquer corrente apropriada, e podem possuir qualquer retorno de ampere-espira apropriado.

Em algumas formas de realização, as bobinas 130, 140, 150, e 160 foram concebidas ou escolhidas de acordo com determinadas restrições. Por exemplo, as bobinas 130, 140, 150 e 160 podem ser concebidas de acordo com restrições incluindo: altas correntes necessárias (em algumas formas de realização máximo de aprox. 10 MegaAmp-espira); funcionamento contínuo em operação contínua; conceção de vácuo (protegido do choque de plasma), forma toroidal, limite de eliminação; materiais compatíveis com

150C resistência ao calor; acumulação térmica; e arrefecimento entre passagens.

O reator 110 de fusão pode incluir um ou mais injetores 170 de calor. Os injetores 170 de calor são geralmente operáveis para permitir que qualquer calor apropriado seja adicionado ao reator 110 de fusão de modo que a aquecer o plasma 310. Em algumas formas de realização, por exemplo, injetores 170 de calor podem ser utilizados para adicionar feixes neutros de modo a aquecer o plasma 310 dentro do reator 110 de fusão.

Em funcionamento, o reator 110 de fusão gera energia de fusão controlando a forma do plasma 310 durante um processo de fusão nuclear utilizando, pelo menos, bobinas 140 internas, bobinas 150 encerradas e bobinas 160 espelhadas. As bobinas 140 internas e as bobinas 150 encerradas são alimentadas para formar campos magnéticos os quais confinam o plasma 310 a uma forma, tal como a forma mostrada nas FIGURAS 3B e 5. Gases, tais como deutério e trítio, podem, depois, ser feitos reagir para produzir partículas energéticas as quais aquecem o plasma 310 e as paredes do invólucro 120. O calor gerado pode depois ser utilizado para energia. Por exemplo, um metal líquido refrigerante pode transportar calor a partir das paredes do reator para fora para os motores de um avião. Em algumas formas de realização, a energia elétrica também pode ser extraída do reator 110 de fusão por meio de MHD.

De modo a expandir o volume de plasma 310 e criar uma mais favorável geometria β mínima, o número de bobinas internas pode ser aumentado para produzir um ponto de reversão. Em algumas formas de realização de reator 110 de fusão, a soma das bobinas 140 internas, bobina 130 central e bobinas 160

espelhadas é um número ímpar de modo a obter o encerramento pelo campo "solenoide" exterior (*i. e.*, o campo magnético proporcionado pelas bobinas 150 encerradas). Isto impede produzir um campo do anel de ponto de reversão e, por isso, arruinando a separatriz de encerramento. Duas bobinas 140 internas e bobina 130 central com polarizações alternadas originam um campo magnético com características β mínimas dentro do ponto de reversão e um núcleo de volume de plasma quase esférico. A adição de duas bobinas "espelhadas" axiais (*i. e.*, bobinas 160 espelhadas) serve para reduzir as perdas do ponto de reversão axial e de modo mais importante faz com que as linhas de campo de recirculação satisfaçam a média β mínima, uma condição não satisfeita por outros esquemas de recirculação existentes. Em algumas formas de realização, pares adicionais de bobinas 140 internas podem ser adicionados para criar mais volume de plasma no poço. Contudo, essas adições podem aumentar o custo e complexidade do reator 110 de fusão e podem requerer suportes adicionais para bobinas internas para plasma 310.

Nas formas de realização de reator 110 de fusão ilustradas, apenas as bobinas 140 internas estão dentro do plasma 310. Em algumas formas de realização, as bobinas 140 internas estão suspensas dentro do invólucro 120 através de um ou mais suportes, tal como o suporte 750 ilustrado na FIGURA 7. Enquanto os suportes situam-se no exterior do núcleo central do poço de plasma, estes ainda podem experimentar fluxos altos de plasma. Em alternativa, as bobinas 140 internas de algumas formas de realização podem ser passíveis de levitação, o que poderá remover o risco e complexidade de possuir estruturas de suporte dentro do plasma 310.

A **FIGURA 4** ilustra uma vista simplificada das bobinas do

reator 110 de fusão e sistemas exemplificativos para alimentar as bobinas. Nesta forma de realização, a geometria do campo é dimensionada para ter o mínimo tamanho necessário para alcançar adequada magnetização de iões com campos que podem ser produzidos através de simples tecnologia indutora. A adequada magnetização de iões foi considerada para ser ~5 ião por ciclo no raio na conceção de potência média de iões em relação à largura da zona de recirculação. Na conceção de potência de 100 eV de temperatura do plasma existem 13 saltos de difusão de iões e em plena 20 KeV de energia do plasma existem 6,5 saltos de iões. Isto é o mínimo para manter um campo magnético razoável de 2,2 T nos pontos de reversão e manter um tamanho do dispositivo modesto.

Como ilustrado na FIGURA 4, determinadas formas de realização do reator 110 de fusão incluem duas bobinas 160 espelhadas: uma primeira bobina 160a espelhada situada próximo da primeira extremidade 320 do invólucro e uma segunda bobina magnética 160b situada próximo da segunda extremidade 330 do invólucro 120. Determinadas formas de realização do reator 110 de fusão também incluem uma bobina 130 central que está situada próximo do ponto 340 central do invólucro 120. Determinadas formas de realização do reator 110 de fusão também incluem duas bobinas 140 internas: uma primeira bobina 140a interna situada entre a bobina 130 central e a primeira extremidade 320 do invólucro 120, e uma segunda bobina 140b interna situada entre a bobina 130 central e a segunda extremidade 330 do invólucro 120. Além disso, determinadas formas de realização do reator 110 de fusão podem incluir duas ou mais bobinas 150 encerradas. Por exemplo, o reator 110 de fusão pode incluir um primeiro conjunto de duas bobinas 150 encerradas situadas entre a primeira bobina 140a interna e a primeira extremidade 320 do

invólucro 120, e um segundo conjunto de duas bobinas 150 encerradas situadas entre a segunda bobina 140b interna e a segunda extremidade 330 do invólucro 120. Em algumas formas de realização, o reator 110 de fusão pode incluir qualquer número par de bobinas 150 encerradas. Em algumas formas de realização, as bobinas 150 encerradas podem estar situadas em qualquer posição apropriada ao longo do eixo 115 longitudinal que não o que está ilustrado na FIGURA 4. Em geral, as bobinas 150 encerradas, bem como as bobinas 140 internas e as bobinas 160 espelhadas, podem estar situadas em qualquer posição apropriada ao longo do eixo 115 longitudinal de modo a manter os campos magnéticos com a forma correta para alcançar a forma desejada do plasma 310.

Em algumas formas de realização, as correntes elétricas são fornecidas às bobinas 130, 140, 150 e 160 como ilustrado na FIGURA 4. Nesta figura, cada bobina foi dividida ao longo do eixo 115 longitudinal e está representada por um retângulo com um "X" ou um "O" em cada extremidade. Um "X" representa corrente elétrica que flui no plano do papel e um "O" que representa corrente elétrica que flui para fora do plano do papel. Utilizando esta nomenclatura, a FIGURA 4 ilustra esta forma de realização do reator 110 de fusão, correntes elétricas fluem na mesma direção através de bobinas 150 encerradas, bobina 130 central e bobinas 160 espelhadas (*i. e.*, no plano do papel na parte superior das bobinas), mas fluem na direção oposta através das bobinas 140 internas (*i. e.*, para o plano do papel na parte inferior das bobinas).

Em algumas formas de realização, a geometria de campo do reator 110 de fusão pode ser sensível às correntes relativas nas bobinas, mas o problema pode ser adequadamente decomposto para

permitir o controle. Em primeiro lugar, as correntes para os pares opostos das bobinas podem ser acionadas em série para garantir que nenhuma assimetria existe na direção axial. O campo em algumas formas de realização é muito sensível às três bobinas centrais (e. g., bobinas 140 internas e bobina 130 central). Com as correntes da bobina 140 interna fixas, a corrente na bobina 130 central pode ser ajustada para ajustar a forma do poço magnético central. Esta região pode ser alterada para uma forma de "haltere" orientada de modo axial, aumentando a corrente na bobina 130 central como o aumento no fluxo de "compressão" na esfera para a forma axial. Em alternativa, a corrente na bobina 130 central pode ser reduzida, resultando num poço magnético em forma de anel no ponto 340 central. O raio da bobina 130 central também define o quão próximo a linha nula do anel de ponto de reversão torna às bobinas 140 internas e pode ser escolhida de modo a possuir esta linha nula próxima do meio do intervalo entre a bobina 130 central e as bobinas 140 internas, para aumentar o confinamento.

O raio das bobinas 140 internas serve para configurar o equilíbrio da força relativa do campo entre os pontos de reversão e o anel dos pontos de reversão para o poço central. Os tamanhos da linha de base podem ser escolhidos de tal modo que estes valores de campo são aproximadamente iguais. Embora seja favorável reduzir as perdas do anel dos pontos de reversão aumentando o fluxo relativo nesta área, uma abordagem equilibrada pode ser mais desejável.

Em algumas formas de realização, o campo magnético não é tão sensível a bobinas 160 espelhadas e bobinas 150 encerradas, mas as suas dimensões devem ser escolhidas para alcançar a forma desejada do plasma 310. Em algumas formas de realização, as

bobinas 160 espelhadas podem ser escolhidas para serem tão resistentes quanto possível sem requerer mais imanes complexos, e o raio das bobinas 160 espelhadas pode ser escolhido para manter bom acesso ao diagnóstico ao centro do dispositivo. Algumas formas de realização podem beneficiar do encolhimento das bobinas 160 espelhadas, alcançando desse modo maiores proporções de espelhos para menos corrente, mas ao preço do acesso de diagnóstico axial reduzido.

Em geral, as bobinas 150 encerradas possuem campos magnéticos mais fracos do que as outras bobinas dentro do reator 110 de fusão. Por este motivo, o posicionamento das bobinas 150 encerradas é menos crítico do que o das outras bobinas. Em algumas formas de realização, as posições das bobinas 150 encerradas são definidas de tal modo que o acesso ininterrupto ao núcleo do dispositivo é mantido para diagnóstico. Em algumas formas de realização, um número par de bobinas 150 encerradas pode ser escolhido para acomodar suportes para as bobinas 140 internas. Os diâmetros de bobinas 150 encerradas são geralmente maiores do que aqueles das bobinas 140 internas, e podem ser todos iguais para facilidade de fabrico e montagem comum em ou num invólucro 120 cilíndrico. Em algumas formas de realização, as bobinas 150 encerradas podem ser deslocadas para o interior para o limite do plasma, mas isso pode afetar a produção e as características de transferência de calor do reator 110 de fusão.

Em algumas formas de realização, o reator 110 de fusão inclui vários sistemas para alimentar a bobina 130 central, as bobinas 140 internas, as bobinas 150 encerradas e as bobinas 160 espelhadas. Por exemplo, um sistema 410 de bobina central, um sistema 420 de bobina encerrada, um sistema 430 de bobina

espelhada, e um sistema 440 de bobina interna podem ser utilizados em algumas formas de realização. Os sistemas 410-440 de bobina e as bobinas 130-160 podem ser ligados como ilustrado na FIGURA 4. Os sistemas 410-440 de bobina podem ser quaisquer sistemas apropriados para acionar quaisquer quantidades apropriadas de corrente elétrica através das bobinas 130-160. O sistema 410 de bobina central pode ser utilizado para acionar a bobina 130 central, o sistema 420 de bobina encerrada pode ser utilizado para acionar bobinas 150 encerradas, o sistema 430 de bobina espelhada pode ser utilizado para acionar bobinas 160 espelhadas e o sistema 440 de bobina interna pode ser utilizado para acionar bobinas 140 internas. Noutras formas de realização, mais ou menos sistemas de bobina podem ser utilizados do que aqueles ilustrados na FIGURA 4. Em geral, os sistemas 410-440 de bobina podem incluir quaisquer fontes de energia apropriadas, tal como bancos de baterias.

A **FIGURA 5** ilustra plasma 310 dentro do invólucro 120 que está moldado e confinado pela bobina 130 central, bobinas 140 internas, bobinas 150 encerradas e bobinas 160 espelhadas. Como ilustrado, um campo espelhado externo é proporcionado pelas bobinas 160 espelhadas. O fluxo do anel de ponto de reversão está contido no interior do espelho. O revestimento 510 magnetizado preso que é proporcionado pelas bobinas 150 encerradas impede a separação do plasma 310. O revestimento 510 magnetizado preso é uma parede magnética que provoca que o plasma 310 circule novamente e impede o plasma 310 de se expandir para fora. O fluxo de recirculação é, por este motivo, forçado a permanecer num campo magnético mais forte. isto proporciona estabilidade completa numa geometria compacta e eficiente. Além disso, as únicas perdas do plasma que saem do reator 110 de fusão são dois pequenos pontos de reversão nas

extremidades do reator 110 de fusão ao longo do eixo 115 longitudinal. Isto é um melhoramento de concepções típicas nas quais o plasma separa-se e sai por outros locais.

As perdas de determinadas formas de realização do reator 110 de fusão são também ilustradas na FIGURA 5. Como mencionado acima, as únicas perdas de plasma que sai do reator 110 de fusão são em dois pequenos pontos de reversão nas extremidades do reator 110 de fusão ao longo do eixo 115 longitudinal. Outras perdas podem incluir perdas de difusão devido às bobinas 140 internas e perdas do ponto de reversão axial. Além disso, nas formas de realização nas quais as bobinas 140 internas estão suspensas dentro do invólucro 120 com um ou mais suportes (e. g., "hastes"), o reator 110 de fusão pode incluir perdas do anel de ponto de reversão devido aos suportes.

Em algumas formas de realização, as bobinas 140 internas podem ser concebidas de um tal modo para reduzir as perdas de difusão. Por exemplo, determinadas formas de realização do reator 110 de fusão podem incluir bobinas 140 internas que estão configuradas para se adequarem à forma do campo magnético. Isto pode permitir que o plasma 310, o qual segue as linhas do campo magnético, seja impedido de tocar nas bobinas 140 internas, desse modo reduzindo ou eliminando perdas. Uma forma de realização exemplificativa de bobinas 140 internas que ilustra uma forma adequada é discutida abaixo com referência à FIGURA 7.

A **FIGURA 6** ilustra um campo magnético de determinadas formas de realização do reator 110 de fusão. Em geral, o reator 110 de fusão está concebido para possuir um poço magnético central que é desejado para funcionamento beta elevado

e para alcançar maiores densidades de plasma. Como ilustrado na FIGURA 6, o campo magnético pode incluir três poços magnéticos. O poço magnético central pode expandir com Beta elevado, e ocorre a fusão em todos os três poços magnéticos. Outra característica desejada é a supressão das perdas do anel de ponto de reversão. Como ilustrado na FIGURA 6, o anel dos pontos de reversão liga a cada outro e circula novamente. Além disso, é desejada boa estabilidade MHD em todas as regiões. Como ilustrado na FIGURA 6, apenas são necessárias duas penetrações de campo e a interligação MHD é satisfeita em toda a parte.

Em algumas formas de realização, os campos magnéticos podem ser alterados sem qualquer recolocação das bobinas, reduzindo as correntes, criando, por exemplo, pontos de reversão mais fracos e alterando o equilíbrio entre o anel e os pontos de reversão. A polaridade das correntes poderá também ser revertida para produzir um campo do tipo espelho e mesmo um espelho encerrado. Além disso, as localizações físicas das bobinas podem ser alteradas.

A **FIGURA 7** ilustra uma forma de realização exemplificativa de uma bobina 140 interna do reator 110 de fusão. Nesta forma de realização, a bobina 140 interna inclui enrolamentos 710 de bobina, blindagem 720 interior, camada 730 e blindagem 740 exterior. Em algumas formas de realização, a bobina 140 interna pode ser suspensa dentro do invólucro 120 com um ou mais suportes 750. Os enrolamentos 710 de bobina podem possuir uma largura 715 e podem ser cobertos no seu todo ou em parte por blindagem 720 interior. A blindagem 720 interior pode possuir uma espessura 725 e pode ser coberta no seu todo ou em parte pela camada 730. A camada 730 pode possuir uma espessura 735 e pode ser coberta no seu todo ou em parte por blindagem 740

exterior. A blindagem exterior pode possuir uma espessura 745 e pode possuir uma forma que é conforme ao campo magnético dentro do invólucro 120. Em algumas formas de realização, a bobina 140 interna pode possuir um diâmetro total de aproximadamente 1,04 m.

Os enrolamentos 710 de bobina formam uma bobina supercondutora e transportam uma corrente elétrica que é tipicamente numa direção oposta das bobinas 150 encerradas, bobina 130 central e bobinas 160 espelhadas. Em algumas formas de realização, a largura 715 dos enrolamentos das bobinas é, aproximadamente, 20 cm. Os enrolamentos 710 de bobina podem ser envolvidos por blindagem 720 interior. A blindagem 720 interior proporciona suporte estrutural, reduz o fluxo de neutrões residual, e protege contra raios gama devido às impurezas. A blindagem 720 interior pode ser constituída por Tungsténio ou qualquer outro material que seja capaz de parar os neutrões e os raios gama. Em algumas formas de realização, a espessura 725 da blindagem 720 interior é aproximadamente 11,5 cm.

Em algumas formas de realização, a blindagem 720 interior é envolvida pela camada 730. A camada 730 pode ser constituída por lítio (e. g., lítio-6) e pode possuir uma espessura 735 de aproximadamente 5 mm. A camada 730 pode ser envolvida por blindagem 740 exterior. A blindagem 740 exterior pode ser constituída por FLiBe e pode possuir uma espessura 745 de aproximadamente 30 cm. Em algumas formas de realização, a blindagem exterior pode ser conforme os campos magnéticos dentro do invólucro 120 de modo a reduzir perdas. Por exemplo, a blindagem 740 exterior pode formar um toro.

A **FIGURA 8** ilustra uma vista em corte do invólucro 120 de

determinadas formas de realização do reator 110 de fusão. Em algumas formas de realização, o invólucro 120 inclui uma ou mais partes 810 interiores de cobertura, uma cobertura 820 exterior, e uma ou mais camadas 730 descritas anteriormente. Na forma de realização ilustrada, o invólucro 120 inclui três partes 810 de cobertura interior que estão separadas por três camadas 730. Outras formas de realização podem possuir qualquer número ou configuração de partes 810 de cobertura interior, camadas 730, e cobertura 820 exterior. Em algumas formas de realização, o invólucro 120 pode possuir uma espessura 125 total de, aproximadamente, 80 cm em muitas localizações. Noutras formas de realização, o invólucro 120 pode possuir uma espessura 125 total de, aproximadamente, 1,50 m em muitas localizações. Contudo, a espessura 125 pode variar ao longo do comprimento do invólucro 120 dependendo da forma do campo magnético dentro do invólucro 120 (*i. e.*, a forma interna do invólucro 120 pode ser conforme o campo magnético como ilustrado na FIGURA 3b e, por este motivo, pode não possuir espessura 125 uniforme).

Em algumas formas de realização, as partes 810 de cobertura interior possuem uma espessura 815 combinada de, aproximadamente, 70 cm. Noutras formas de realização, as partes 810 de cobertura interior possuem uma espessura 815 combinada de, aproximadamente, 126 cm. Em algumas formas de realização, as partes de cobertura interior são constituídas por materiais, tais como Be, FLiBe, e semelhantes.

A cobertura 820 exterior é qualquer material de baixa ativação que não tende a tornar-se radiativo sob irradiação. Por exemplo, a cobertura 820 exterior pode ser ferro ou aço. Em algumas formas de realização, a cobertura 820 exterior pode possuir uma espessura 825 de, aproximadamente, 10 cm.

A **FIGURA 9** ilustra um sistema 900 computadorizado exemplificativo. Em formas de realização particulares, um ou mais sistemas 900 computadorizados são utilizados pelo reator 110 de fusão para quaisquer aspetos que necessitem de controlo computadorizado. Formas de realização particulares incluem uma ou mais partes de um ou mais sistemas 900 computadorizados. Aqui, referência a um sistema computadorizado pode abranger um dispositivo computadorizado, e vice-versa, onde apropriado. Além disso, referência a um sistema computadorizado pode abranger um ou mais sistemas computadorizados, onde apropriado.

Esta divulgação contempla qualquer número adequado de sistemas 900 computadorizados. Esta divulgação contempla o sistema 900 computadorizado tomando qualquer forma física adequada. Como exemplo e não a título de limitação, o sistema 900 computadorizado pode ser um sistema computadorizado integrado, um sistema computadorizado numa pastilha (SOC), um sistema computadorizado numa só placa (SBC) (tal como, por exemplo, um módulo computadorizado (COM) ou módulo de sistema (SOM)), a sistema computadorizado de secretária, um sistema computadorizado portátil ou transportável, um quiosque interativo, uma unidade central de processamento, uma rede de sistemas computadorizados, um telefone móvel, um assistente digital pessoal (PDA), um servidor, um sistema computadorizado de tablete ou uma combinação de dois ou mais destes. Onde apropriado, o sistema 900 computadorizado pode incluir um ou mais sistemas 900 computadorizados; ser unitário ou distribuído; alcançar várias localizações; alcançar múltiplas máquinas; alcançar múltiplos centros de dados; ou estar alojado numa nuvem, o qual pode incluir um ou mais componentes de nuvem em uma ou mais redes. Onde apropriado, um ou mais sistemas 900 computadorizados podem

realizar sem substancial limitação espacial ou temporal um ou mais passos de um ou mais métodos aqui descritos ou ilustrados. Como um exemplo e não a título de limitação, um ou mais sistemas 900 computadorizados podem realizar em tempo real ou em modo *batch* um ou mais passos de um ou mais métodos aqui descritos ou ilustrado. Um ou mais sistemas 900 computadorizados podem realizar em diferentes alturas ou em diferentes localizações um ou mais passos de um ou mais métodos aqui descritos ou ilustrados, quando apropriado.

Em formas de realização particulares, o sistema 900 computadorizado inclui um processador 902, memória 904, armazenamento 906, uma interface 908 de entrada/saída (I/O), uma interface 910 de comunicação, e um barramento 912. Embora esta divulgação descreva e ilustre um sistema computadorizado particular, possuindo um número particular de componentes particulares numa disposição particular, esta divulgação contempla qualquer sistema computadorizado adequado, possuindo qualquer número adequado de quaisquer componentes adequados em qualquer disposição adequada.

Em formas de realização particulares, o processador 902 inclui hardware para executar instruções, tal como aquelas que compõem um programa de computador. Como um exemplo e não a título de limitação, para executar instruções, o processador 902 pode recuperar (ou trazer) as instruções de um registo interno, uma memória tampão interna, memória 904 ou armazenamento 906; decodificar e executá-los; e depois escrever um ou mais resultados num registo interno, uma memória tampão interna, memória 904, ou armazenamento 906. Em formas de realização particulares, o processador 902 pode incluir uma ou mais memórias tampão internas para dados, instruções ou direções.

Esta divulgação contempla o processador 902 incluindo qualquer número adequado de quaisquer memórias tampão internas adequadas, onde apropriado. Como um exemplo e não título de limitação, o processador 902 pode incluir uma ou mais instruções de memórias tampão, uma ou mais dados de memórias tampão, e um ou mais tampões de translação para o lado (TLB). As instruções na instrução das memórias tampão pode ser cópias de instruções na memória 904 ou armazenamento 906, e as instruções das memórias tampão pode acelerar a recuperação dessas instruções pelo processador 902. Dados nos dados das memórias tampão podem ser cópias de dados na memória 904 ou armazenamento 906 para instruções que são executadas no processador 902 para funcionar; os resultados de instruções prévias executadas no processador 902 durante o acesso por instruções subsequentes executando no processador 902 ou para escrever na memória 904 ou armazenamento 906; ou outros dados adequados. Os dados das memórias tampão podem acelerar lendo ou escrevendo pelo processador 902. Os TLB podem acelerar até tradução do endereço virtual para o processador 902. Em formas de realização particulares, o processador 902 pode incluir um ou mais registros internos para dados, instruções ou registros. Esta divulgação contempla processador 902 incluindo qualquer número adequado de quaisquer registros adequados, onde apropriado. Onde apropriado, o processador 902 pode incluir uma ou mais unidades lógicas aritméticas (ALU); ser um processador de vários núcleos; ou incluir um ou mais processadores 902. Embora esta divulgação descreva e ilustre um processador particular, esta divulgação contempla qualquer processador adequado.

Em formas de realização particulares, a memória 904 inclui uma memória principal para armazenar instruções para o processador 902 executar ou dados para o processador 902

funcionar. Como um exemplo e não a título de limitação, o sistema 900 computadorizado pode carregar instruções a partir de um armazenamento 906 ou outra fonte (tal como, por exemplo, outro sistema 900 computadorizado) para a memória 904. o processador 902 pode depois carregar as instruções a partir da memória 904 para um registo interno ou memória tampão interna. Para executar as instruções, o processador 902 pode recuperar as instruções a partir do registo interno ou memória tampão interna e descodifica-las. Durante ou depois da execução das instruções, o processador 902 pode escrever um ou mais resultados (os quais podem ser resultados intermédios ou finais) para o registo interno ou memória tampão interna. O processador 902 pode depois escrever um ou mais desses resultados na memória 904. Em formas de realização particulares, o processador 902 executa apenas instruções em um ou mais registos internos ou memórias tampão internas ou na memória 904 (em oposição ao armazenamento 906 ou em qualquer parte) e funciona apenas em dados em um ou mais registos internos ou memórias tampão internas ou na memória 904 (em oposição ao armazenamento 906 ou em qualquer parte). Um ou mais barramentos de memória (os quais podem cada incluir um endereço de barramento e dados barramento) podem ligar o processador 902 à memória 904. O barramento 912 pode incluir um ou mais barramentos de memória, como descrito abaixo. Em formas de realização particulares, uma ou mais unidades de gestão de memória (MMU) residem entre o processador 902 e a memória 904 e facilitam o acesso à memória 904 solicitada pelo processador 902. Em formas de realização particulares, a memória 904 inclui memória de acesso aleatório (RAM). Esta RAM pode ser memória volátil, onde apropriado. Onde apropriado, esta RAM pode ser RAM dinâmica (DRAM) ou RAM estática (SRAM). Além disso, onde apropriado, esta RAM pode ser de RAM de única portadora ou de multi-portadora. Esta divulgação contempla

qualquer RAM adequada. A memória 904 pode incluir uma ou mais memórias 904, onde apropriado. Embora esta divulgação descreva e ilustre memória particular, esta divulgação contempla qualquer memória adequada.

Em formas de realização particulares, o armazenamento 906 inclui memória de massa para dados ou instruções. Como um exemplo e não a título de limitação, armazenamento 906 pode incluir a unidade de disco rígido (HDD), uma unidade de disquete, memória instantânea, um disco ótico, um disco magneto-ótico, fita magnética, ou uma unidade de Barramento de Série Universal (USB) ou a combinação de dois ou mais destes. O armazenamento 906 pode incluir meios amovíveis ou não amovíveis (ou fixos), onde apropriado. O armazenamento 906 pode ser interno ou externo ao sistema 900 computadorizado, onde apropriado. Em formas de realização particulares, o armazenamento 906 é não volátil, memória de estado sólido. Em formas de realização particulares, o armazenamento 906 inclui memória apenas de leitura (ROM). Onde apropriado, esta ROM pode ser ROM programada com máscara, ROM programável (PROM), PROM apagável (EPROM), PROM apagável de modo elétrico (EEPROM), ROM alterável de modo elétrico (EAROM), ou memória instantânea ou uma combinação de dois ou mais destes. Esta divulgação contempla memória 906 de massa que assume qualquer forma física adequada. O armazenamento 906 pode incluir um ou mais unidades de controlo de armazenamento que facilitam a comunicação entre o processador 902 e o armazenamento 906, onde apropriado. Onde apropriado, o armazenamento 906 pode incluir um ou mais armazenamentos 906. Embora esta divulgação descreva e ilustre armazenamento particular, esta divulgação contempla qualquer armazenamento adequado.

Em formas de realização particulares, a interface 908 I/O inclui hardware, software, ou ambos, proporcionando uma ou mais interfaces para comunicação entre o sistema 900 computadorizado e um ou mais dispositivos I/O. O sistema 900 computadorizado pode incluir um ou mais destes dispositivos I/O, onde apropriado. Um ou mais destes dispositivos I/O pode permitir a comunicação entre uma pessoa e o sistema 900 computadorizado. Como um exemplo e não a título de limitação, um dispositivo I/O pode incluir um teclado, teclado de multifrequência, microfone, monitor, rato, impressora, scanner, altifalante, câmara fixa, gravador, tablete, ecrã táctil, esfera rolante, câmara de vídeo, outro dispositivo I/O adequado ou uma combinação de dois ou mais destes. Um dispositivo I/O pode incluir um ou mais sensores. Esta divulgação contempla qualquer dispositivo I/O adequado e qualquer interface 908 I/O adequada para estes. Onde apropriado, a interface 908 I/O pode incluir um ou mais dispositivos ou controladores de software que possibilitam o processador 902 para acionar um ou mais destes dispositivos I/O. A interface 908 I/O pode incluir um ou mais interfaces 908 I/O, onde apropriado. Embora esta divulgação descreva e ilustre uma interface I/O particular, esta divulgação contempla qualquer interface I/O adequada.

Em formas de realização particulares, interface 910 de comunicação inclui hardware, software, ou ambos, que proporcionam um ou mais interfaces para comunicação (tal como, por exemplo, comunicação com base em pacotes) entre o sistema 900 computadorizado e um ou mais outros sistemas 900 computadorizados ou uma ou mais redes. Como um exemplo e não a título de limitação, a interface 910 de comunicação pode incluir um controlador de rede de interface (NIC) ou adaptador de rede para comunicar com uma Ethernet ou outra rede de cabos ou uma

NIC sem fios (WNIC) ou adaptador sem fios para comunicar com uma rede sem fios, tal como uma rede WI-FI. Esta divulgação contempla qualquer rede adequada e qualquer interface 910 de comunicação adequada para esta. Como um exemplo e não a título de limitação, o sistema 900 computadorizado pode comunicar com uma rede *ad hoc*, uma rede de área pessoal (PAN), uma rede de área local (LAN), uma rede de área alargada (WAN), uma rede metropolitana (MAN), ou uma ou mais partes da Internet ou uma combinação de duas ou mais destas. Uma ou mais partes de uma ou mais destas redes pode ser com fios ou sem fios. Como um exemplo, o sistema 900 computadorizado pode comunicar com uma PAN sem fios (WPAN) (tal como, por exemplo, uma WPAN BLUETOOTH), uma rede WI-FI, uma rede WI-MAX, uma rede telefónica celular (tal como, por exemplo, uma rede do Sistema Mundial de Comunicações Móveis (GSM)), ou outra rede sem fios adequada ou uma combinação de duas ou mais destas. O sistema 900 computadorizado pode incluir qualquer interface 910 de comunicação adequada para qualquer destas redes, onde apropriado. A interface 910 de comunicação pode incluir uma ou mais interfaces 910 de comunicação, onde apropriado. Embora esta divulgação descreva e ilustre uma particular interface de comunicação, esta divulgação contempla qualquer interface de comunicação adequada.

Em formas de realização particulares, o barramento 912 inclui hardware, software, ou ambos, que ligam componentes do sistema 900 computadorizado um ao outro. Como um exemplo e não a título de limitação, o barramento 912 pode incluir uma Porta Gráfica Acelerada (AGP) ou outro barramento gráfico, um barramento de Arquitetura Industrial Normalizada e Ampliada (EISA), um barramento frontal (FSB), uma interligação HYPERTRANSPORT (HT), um barramento Arquitetura Industrial Normalizada (ISA), uma interligação INFINIBAND, um barramento de

contagem de pinos baixos (LPC), um barramento de memória, um barramento de arquitetura microcanal (MCA), um componente interconexão periférico (PCI), um barramento PCI-Expresso (PCIe), um barramento de acoplamento de tecnologia avançada de série (SATA), um barramento Video Electronics Standards Association local (VLB), ou outro barramento adequado ou uma combinação de dois ou mais destes. O barramento 912 pode incluir um ou mais barramentos 912, onde apropriado. Embora esta divulgação descreva e ilustre um barramento particular, esta divulgação contempla qualquer barramento adequado ou interligação.

Aqui, um meio ou meios de armazenamento não transitórios legíveis por computador podem incluir um ou mais circuito com base em semicondutores ou outros circuitos integrados (IC) (tais como, por exemplo, rede de portas programáveis (FPGA) ou circuito integrado específico de aplicação (ASIC)), unidades de disco rígido (HDD), unidades de disco rígido híbridas (HHD), discos óticos, unidades de discos óticos (ODD), discos magneto-óticos, unidades magneto-óticas, disquetes, unidades de disquetes (FDD), fitas magnéticas, unidades de estado sólido (SSD), unidades de RAM, cartões DIGITAIS DE SEGURANÇA ou unidades, quaisquer outros meios de armazenamento não transitório adequados legíveis por computador, ou qualquer combinação adequado de dois ou mais destes, onde apropriado. Um meio de armazenamento não transitório adequado legível por computador pode ser volátil, não volátil, ou uma combinação de volátil e não volátil, onde apropriado.

Aqui, "ou" é inclusivo e não exclusivo, a menos que indicado expressamente em contrário ou indicado de outro modo pelo contexto. Por esse motivo, aqui, "A ou B" significa "A, B,

ou ambos," a menos que indicado expressamente em contrário ou indicado de outro modo pelo contexto. Além disso, "e" é comum e múltiplo, a menos que indicado expressamente em contrário ou indicado de outro modo pelo contexto. Por esse motivo, aqui, "A e B" significa "A e B", é comum e múltiplo, a menos que indicado expressamente em contrário ou indicado de outro modo pelo contexto.

O âmbito desta divulgação abrange todas as mudanças, substituições, variações, alterações e modificações às formas de realização exemplificativas aqui descritas ou ilustradas que uma pessoa que possua conhecimento geral na técnica poderá compreender. O âmbito desta divulgação não está limitado às formas de realização exemplificativas aqui descritas ou ilustradas. Além disso, embora esta divulgação descreva e ilustre aqui as respectivas formas de realização como incluindo particulares componentes, elementos, funções, operações, ou passos, quaisquer destas formas de realização pode incluir qualquer combinação ou permuta de qualquer dos componentes, elementos, funções, operações, ou passos aqui descritos ou ilustrados em qualquer parte que uma pessoa que possua conhecimento geral na técnica poderá compreender. A invenção é em qualquer caso definida pelas reivindicações em anexo. Além disso, referência às reivindicações em anexo para um aparelho ou sistema ou um componente de um aparelho ou sistema são adaptadas a, organizadas para, capazes de, configuradas para, permitidas para, operáveis para, ou funcionais para realizar uma particular função, abrangem esse aparelho, sistema, componente, se essa função particular está ativada ou não, ligada, ou aberta, desde

que esse aparelho, sistema, ou componente estiver adaptado, preparado, capaz, configurado, capacitado, operável ou funcional.

Lisboa, 11 de outubro de 2017

REIVINDICAÇÕES

1. Reator (110) de fusão compreendendo:

duas bobinas (140) magnéticas internas suspensas dentro de um invólucro (120);

uma bobina (130) magnética central coaxial com as duas bobinas (140) magnéticas internas e situada próximo de um ponto (340) central do invólucro (120);

uma pluralidade de bobinas (150) magnéticas encerradas coaxiais com as bobinas (140) magnéticas internas, em que as bobinas (150) magnéticas encerradas em funcionamento mantêm a estabilidade magneto-hidrodinâmica (MHD) do reator (110) de fusão mantendo uma parede magnética que impede o plasma (310) dentro do invólucro (120) de se expandir;
e

duas bobinas (160) espelhadas magnéticas coaxiais com as bobinas (140) magnéticas internas.

2. Reator de fusão da reivindicação 1, em que as bobinas magnéticas são operáveis, quando alimentadas por correntes elétricas, para formar campos magnéticos para confinar plasma (310) dentro do invólucro (120), as correntes elétricas compreendendo:

uma pluralidade de primeiras correntes elétricas que fluem numa primeira direção ao longo das bobinas (150)

magnéticas encerradas, a bobina (130) magnética central, e as duas bobinas (160) espelhadas magnéticas; e

uma pluralidade de segundas correntes elétricas que fluem numa segunda direção que é oposta à primeira direção ao longo de duas bobinas (140) magnéticas internas.

3. Reator de fusão da Reivindicação 1 ou 2, em que a bobina (130) magnética central e as bobinas (150) magnéticas encerradas são externas ao invólucro (120).

4. Reator de fusão da Reivindicação 3, em que:

o invólucro (120) compreende uma primeira extremidade (320) e uma segunda extremidade (330) que é oposta à primeira extremidade (320);

as duas bobinas (140) magnéticas internas que estão suspensas dentro do invólucro (120) compreendem:

uma primeira bobina (140A) magnética interna situada entre a bobina (130) magnética central e a primeira extremidade (320) do invólucro (120); e

uma segunda bobina (140B) magnética interna situada entre a bobina (130) magnética central e a segunda extremidade (330) do invólucro (120);

a pluralidade de bobinas (150) magnéticas encerradas compreende:

um primeiro conjunto de duas bobinas (150) magnéticas encerradas situadas entre a primeira bobina (140A) interna magnética e a primeira extremidade (320) do invólucro (120); e

um segundo conjunto de duas bobinas (150) magnéticas encerradas situadas entre a segunda bobina (140B) interna magnética e a segunda extremidade (330) do invólucro (120); e

as duas bobinas (160) espelhadas magnéticas compreendem:

uma primeira bobina (160A) magnética espelhada situada próximo da primeira extremidade (320) do invólucro (120); e

uma segunda bobina (160B) magnética espelhada situada próximo da segunda extremidade (330) do invólucro (120).

5. Reator de fusão da Reivindicação 1, em que:

O invólucro (120) compreende uma primeira extremidade (320) e uma segunda extremidade (330) que é oposta à primeira extremidade (320), o ponto (340) central do invólucro (120) é substancialmente equidistante entre a primeira e segunda extremidades (320, 330) do invólucro (120);

cada bobina (140) magnética interna está posicionada num lado oposto do ponto (340) central do

invólucro (120) a partir da outra bobina (140) magnética interna;

uma ou mais das bobinas (150) magnéticas encerradas estão posicionadas em cada lado do ponto (340) central do invólucro (120);

cada bobina (160) magnética espelhada está posicionada num lado oposto do ponto (340) central do invólucro (120) a partir da outra bobina (160) magnética espelhada; e

as bobinas magnéticas, quando alimentadas com correntes elétricas, formam campos magnéticos para confinar o plasma (310) dentro do invólucro (120).

6. Reator de fusão da Reivindicação 5, em que:

as duas bobinas (140) magnéticas internas compreendem:

uma primeira bobina (140A) magnética interna situada entre a bobina (130) magnética central e a primeira extremidade (320) do invólucro (120); e

uma segunda bobina (140B) magnética interna situada entre a bobina (130) magnética central e a segunda extremidade (330) do invólucro (120);

a uma ou mais bobinas (150) magnéticas encerradas posicionadas em cada lado do ponto (340) central do invólucro (120) compreende:

um primeiro conjunto de duas bobinas (150) magnéticas encerradas situadas entre a primeira bobina (140A) magnética interna e a primeira extremidade (320) do invólucro (120); e

um segundo conjunto de duas bobinas (150) magnéticas encerradas situadas entre a segunda bobina (140B) magnética interna e a segunda extremidade (330) do invólucro (120); e

as duas bobinas (160) magnéticas espelhadas compreendem:

uma primeira bobina (160A) magnética espelhada situada próximo da primeira extremidade (320) do invólucro (120); e

uma segunda bobina (160B) espelhada magnética situada próximo da segunda extremidade (330) do invólucro (120).

7. Reator de fusão da Reivindicação 5 ou 6, em que as correntes elétricas fornecidas às bobinas magnéticas compreendem:

uma pluralidade de primeiras correntes elétricas que fluem numa primeira direção através das bobinas (150) magnéticas encerradas e as duas bobinas (160) magnéticas espelhadas; e

uma pluralidade de segundas correntes elétricas que fluem numa segunda direção que é oposta à primeira

direção ao longo das duas bobinas (140) magnéticas internas.

8. Reator de fusão de uma das Reivindicações 5 a 7, em que as bobinas (150) magnéticas encerradas são externas ao invólucro (120).

9. Reator de fusão de qualquer uma das reivindicações anteriores, em que:

as duas bobinas (140) magnéticas internas, cada compreende uma forma toroidal; e

as bobinas (150) magnéticas encerradas, cada compreende um corte de secção substancialmente quadrado.

10. Reator de fusão da Reivindicação 1, em que:

o invólucro (120) compreende:

um eixo (115) longitudinal que passa num eixo central do invólucro (120); e

uma primeira extremidade (320) e uma segunda extremidade (330) que é oposta à primeira extremidade (320), o ponto (340) central sendo substancialmente equidistante entre a primeira e segunda extremidades (320, 330) do invólucro (120);

as duas bobinas (140) magnéticas internas estão centradas sobre o eixo (115) longitudinal e cada

possui uma forma toroidal, as duas bobinas (140) magnéticas internas compreendendo:

uma primeira bobina (140A) magnética interna situada entre o ponto (340) central e a primeira extremidade (320) do invólucro (120); e

uma segunda bobina (140B) magnética interna situada entre o ponto (340) central e a segunda extremidade (330) do invólucro (120);

uma pluralidade de bobinas (150) magnéticas encerradas está centrada sobre o eixo (115) longitudinal e possui um diâmetro maior do que as bobinas (140) magnéticas internas, a pluralidade de bobinas (150) magnéticas encerradas compreendendo:

pelo menos, duas primeiras bobinas (150) magnéticas encerradas situadas entre o ponto (340) central e a primeira extremidade (320) do invólucro (120); e

pelo menos, duas segundas bobinas (150) magnéticas encerradas situadas entre o ponto (340) central e a segunda extremidade (330) do invólucro (120);

a bobina (130) magnética central está centrada sobre o eixo (115) longitudinal; e

as duas bobinas (160) magnéticas espelhadas estão centradas sobre o eixo (115) longitudinal e compreendem:

uma primeira bobina (160A) magnética espelhada situada próximo da primeira extremidade (320) do invólucro (120); e

uma segunda bobina (160B) magnética espelhada situada próximo da segunda extremidade (330) do invólucro (120);

em que as bobinas magnéticas, quando alimentadas com correntes elétricas, formam campos magnéticos para confinar o plasma (310) dentro do invólucro (120).

11. Reator de fusão da Reivindicação 10, em que as correntes elétricas fornecidas às bobinas magnéticas compreendem:

uma pluralidade de primeiras correntes elétricas que fluem numa primeira direção ao longo da pluralidade de bobinas (150) magnéticas encerradas, a bobina (130) magnética central, e as duas bobinas (160) magnéticas espelhadas; e

uma pluralidade de segundas corrente elétrica que fluem numa segunda direção que é oposta à primeira direção ao longo das duas bobinas (140) magnéticas internas.

12. Reator de fusão de uma das reivindicações anteriores, em que o invólucro (120) compreende uma cobertura (820) exterior e uma cobertura (810) interior, a cobertura (820) exterior compreendendo aço ou ferro e a cobertura (810) interior compreendendo berílio ou uma mistura de fluoreto de lítio (LiF) e fluoreto de berílio (BeF₂) (FLiBe).

13. Reator de fusão de uma das reivindicações anteriores, em que cada das duas bobinas (140) magnéticas internas compreende:

um núcleo compreendendo uma pluralidade de enrolamentos (710) de bobina;

uma blindagem (720) interior que envolve o núcleo;

uma camada (730) de proteção que envolve a blindagem (720) interior; e

uma blindagem (740) exterior que envolve a camada (730) de proteção.

Lisboa, 11 de outubro de 2017

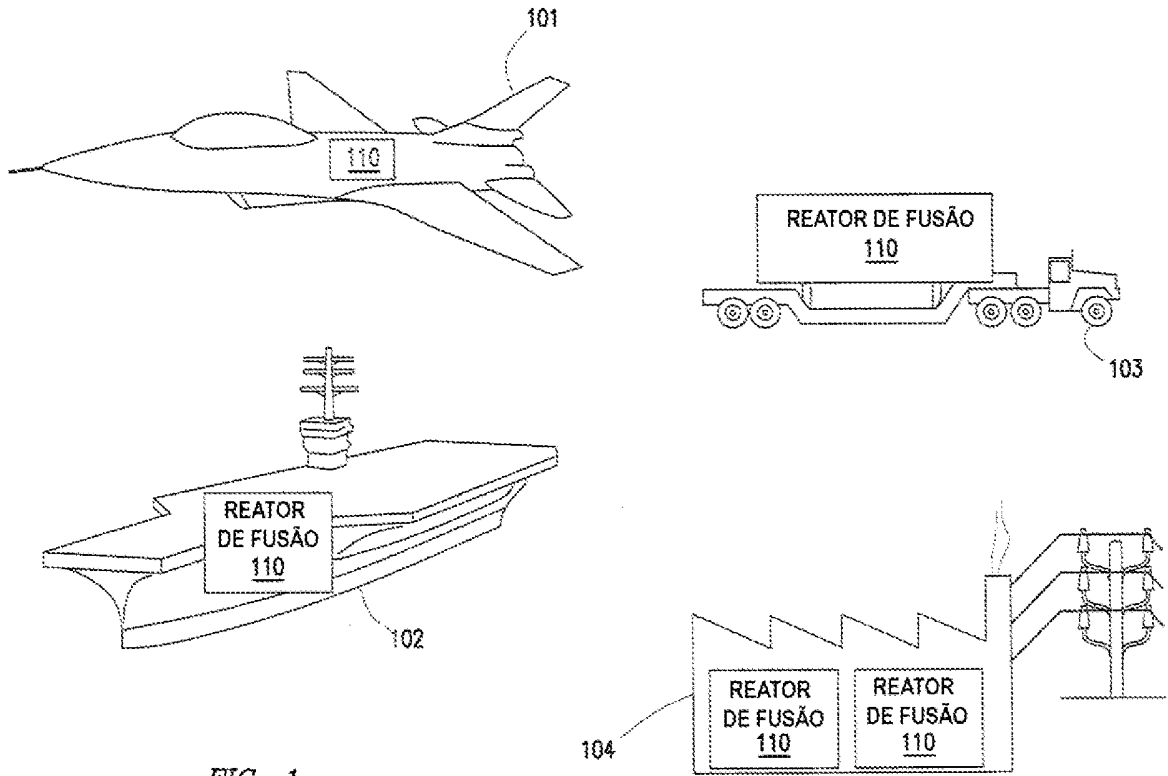


FIG. 1

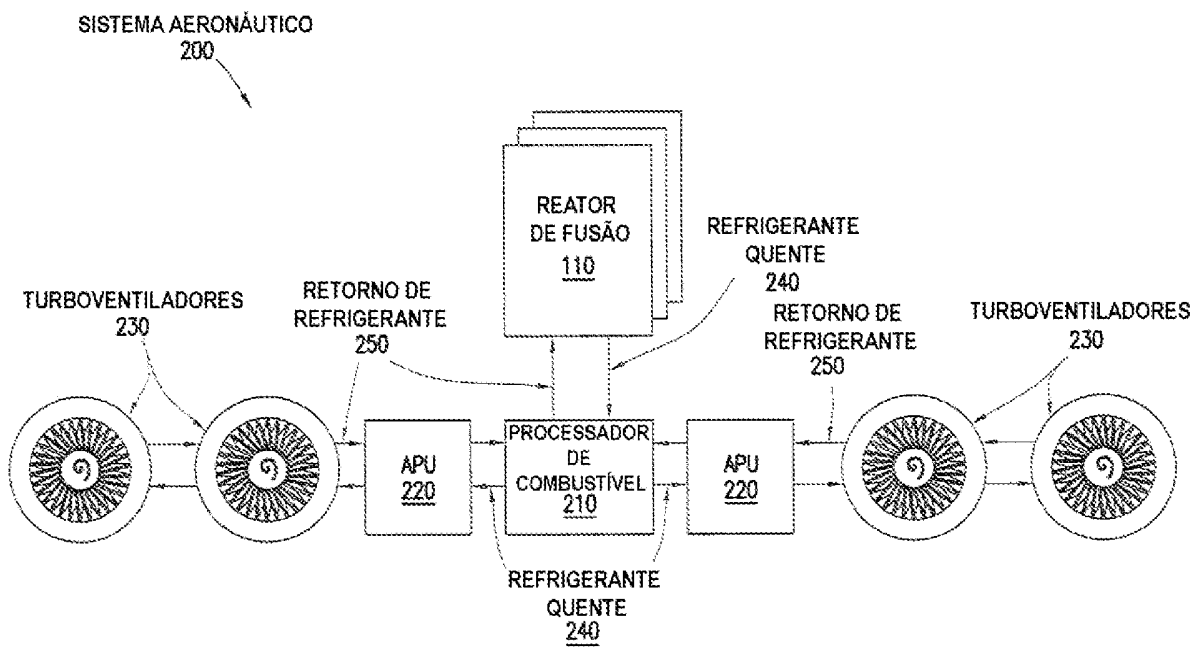


FIG. 2

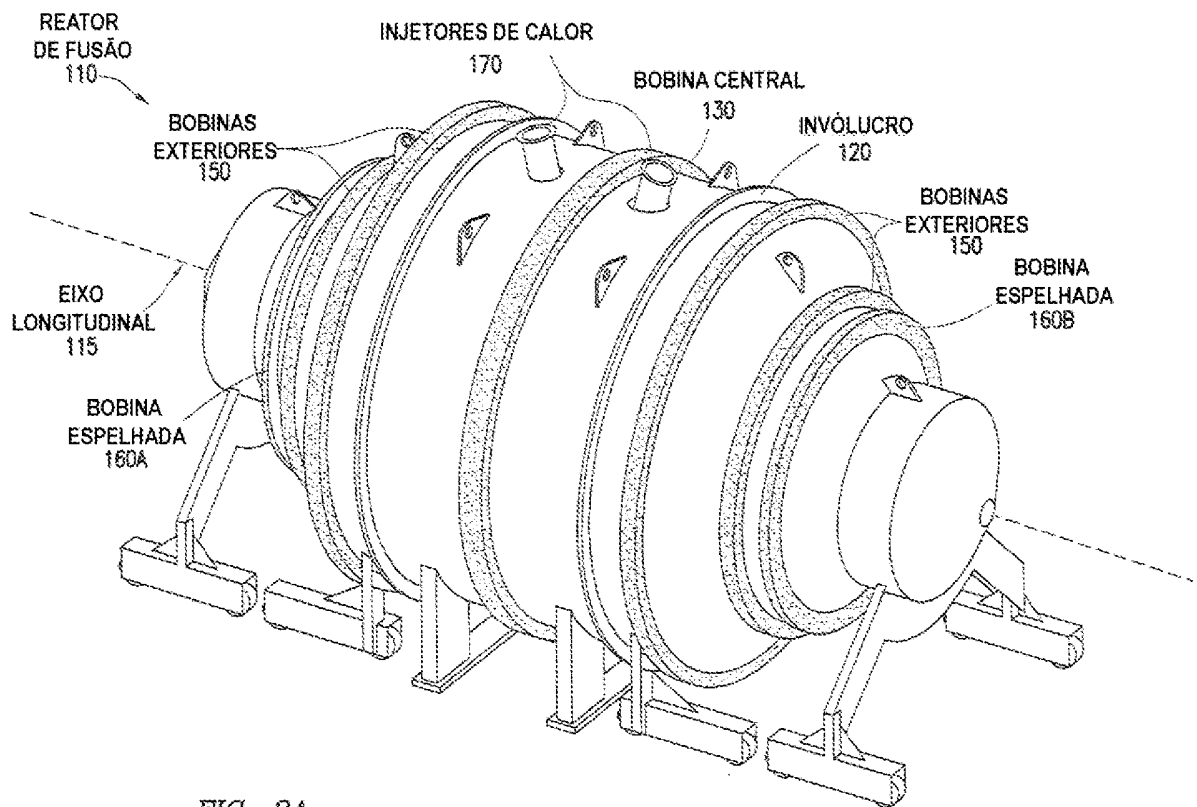


FIG. 3A

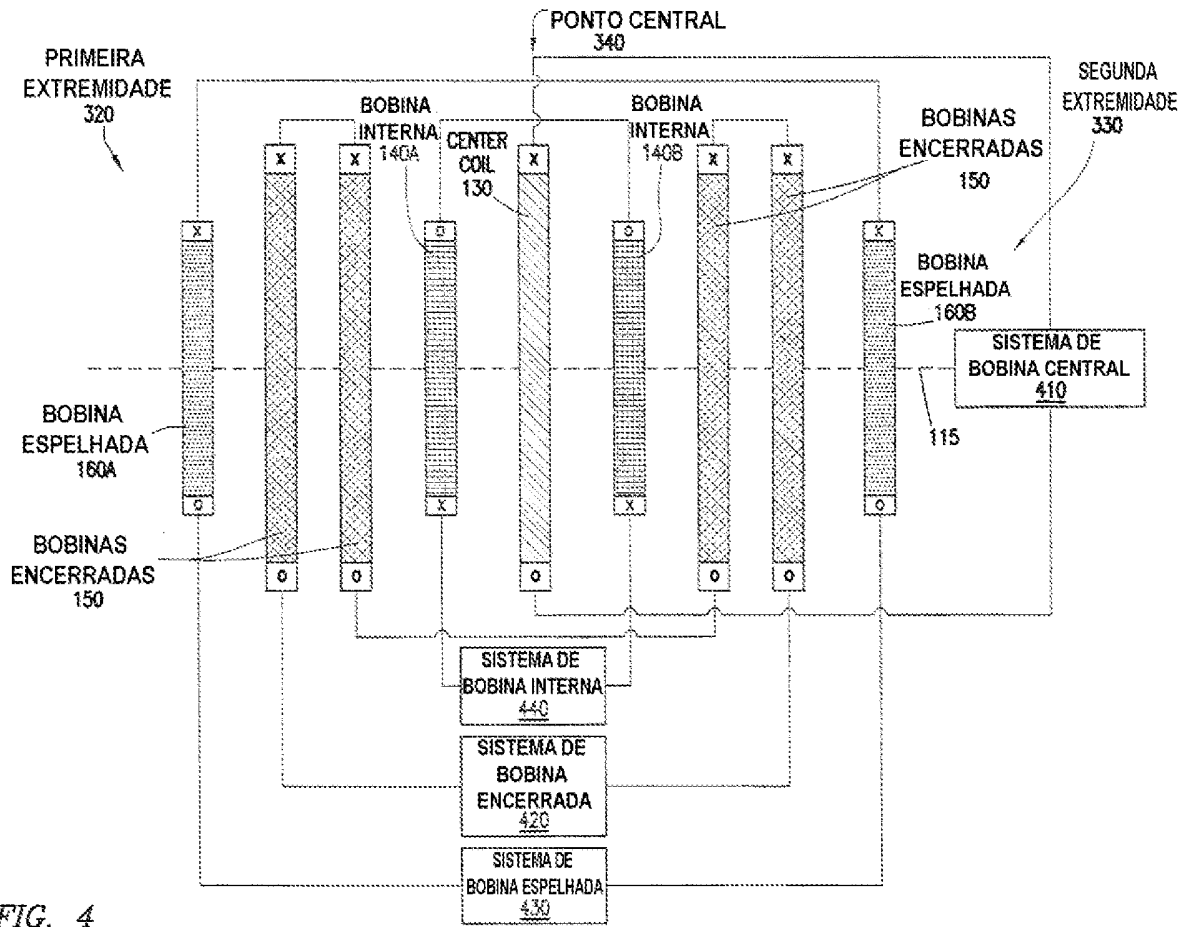


FIG. 4

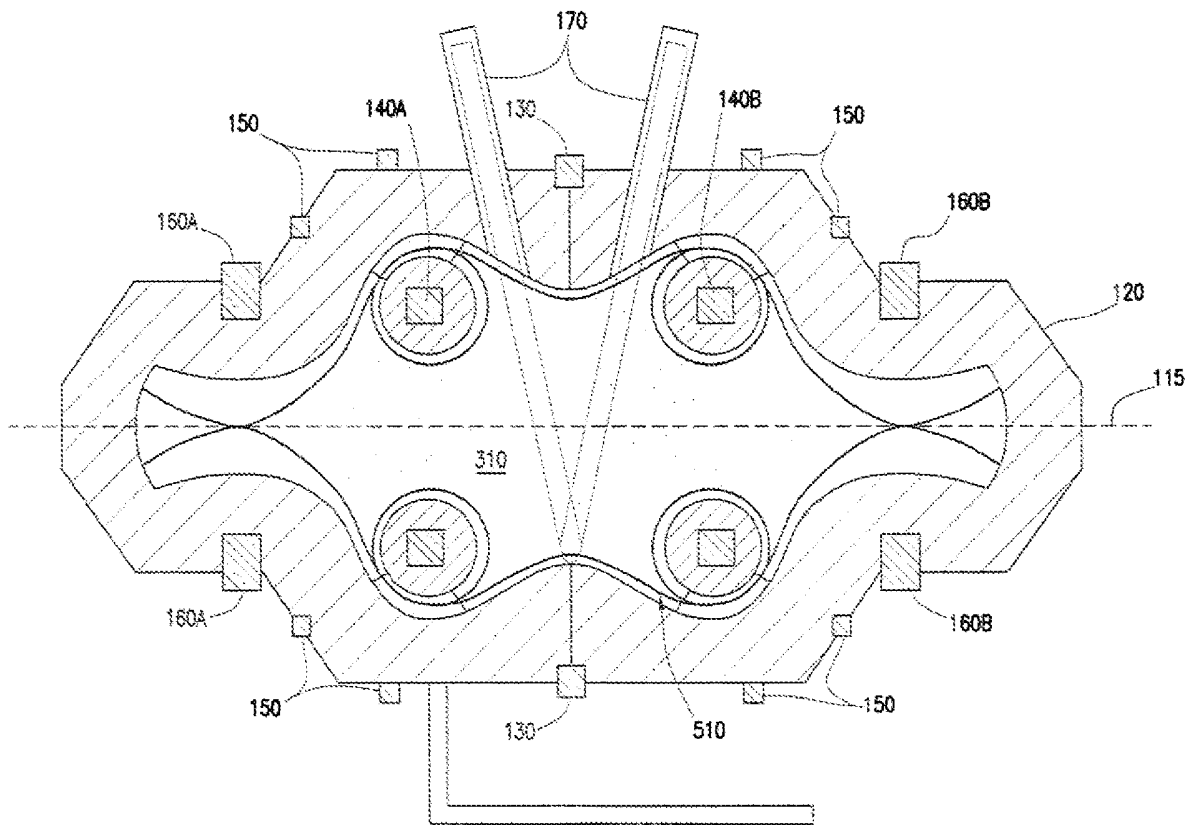


FIG. 5

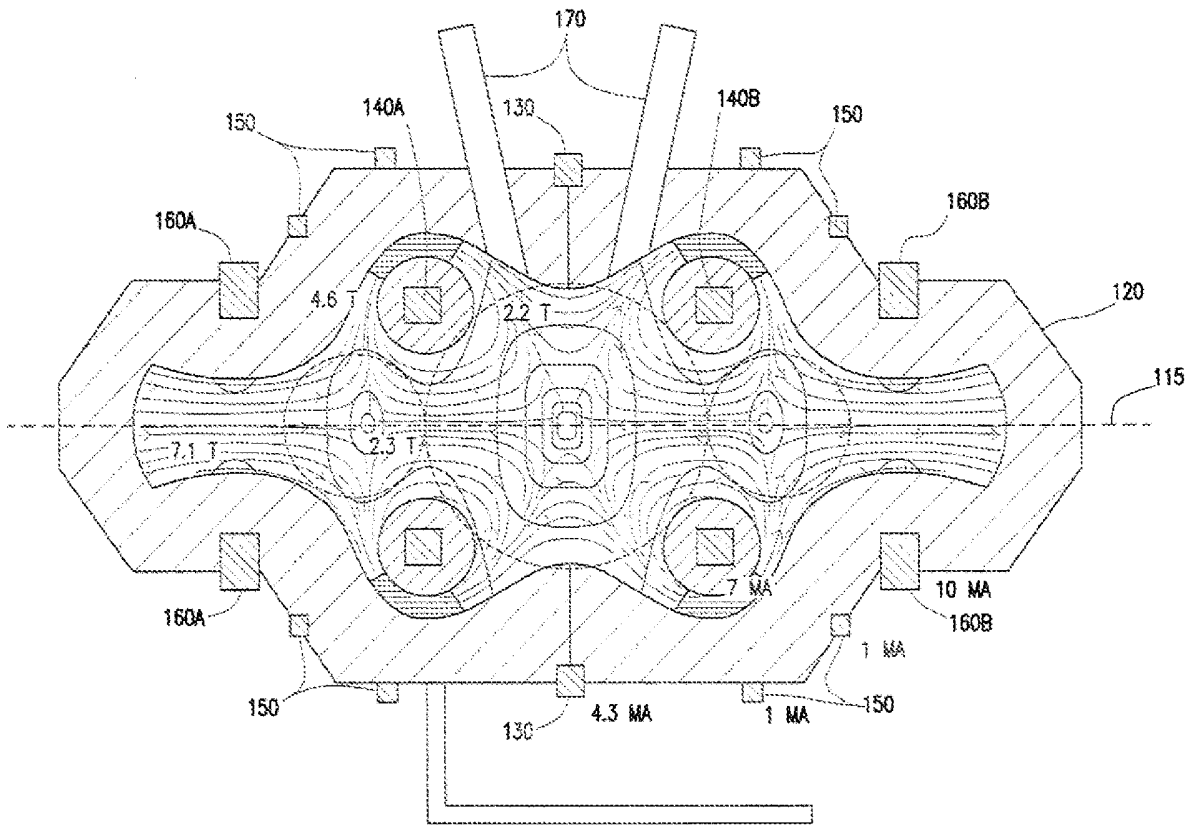


FIG. 6

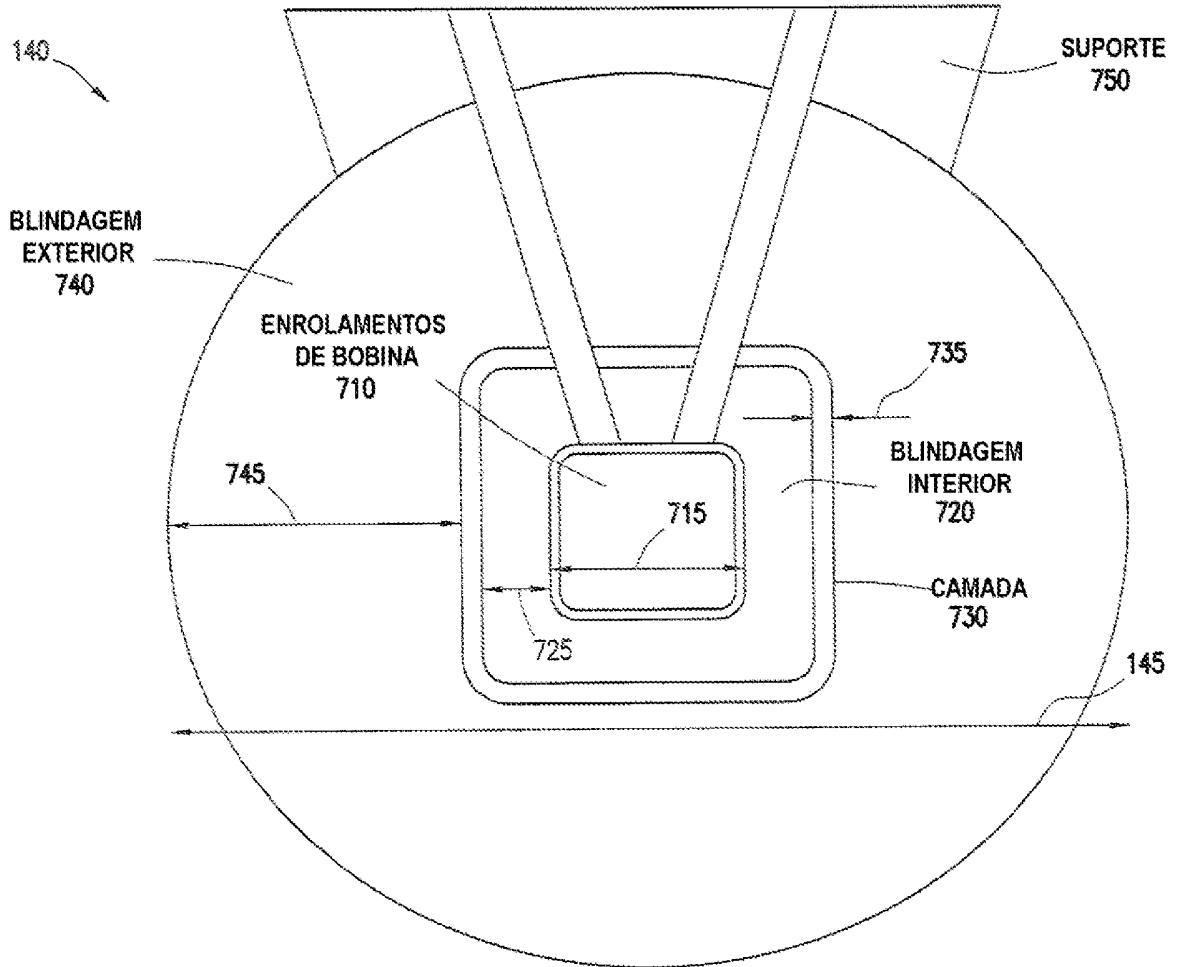


FIG. 7

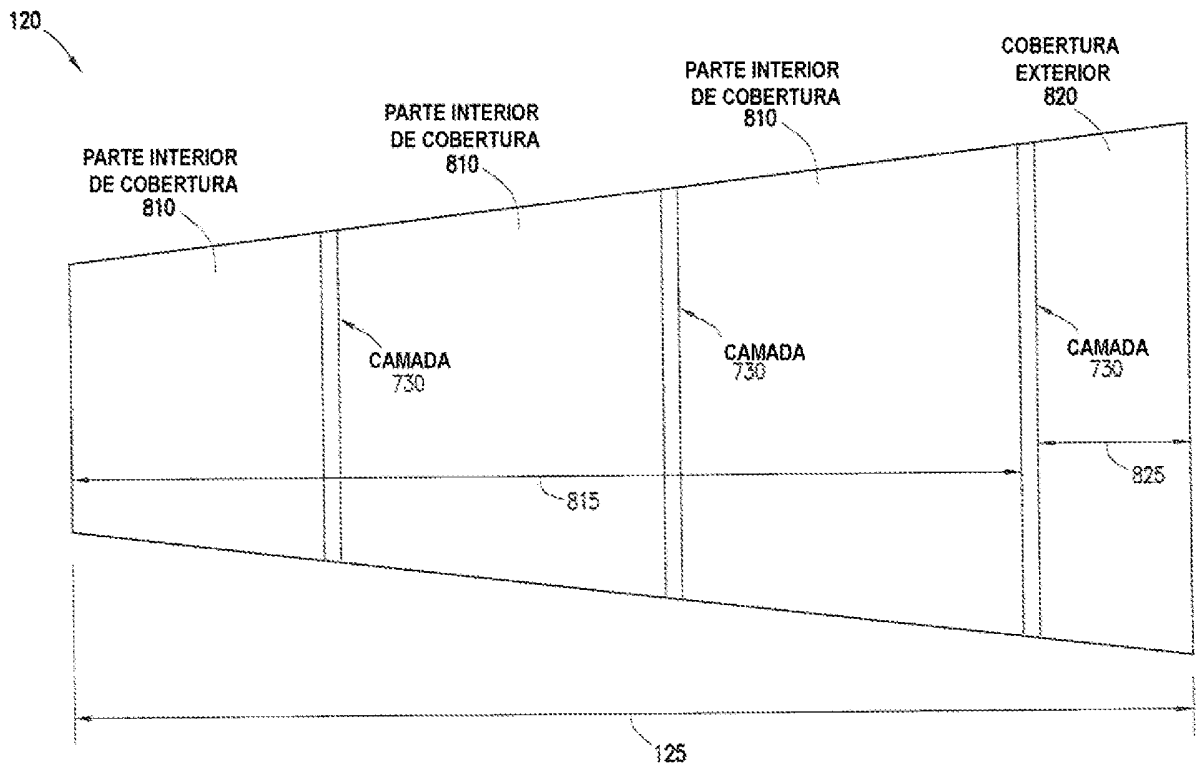


FIG. 8

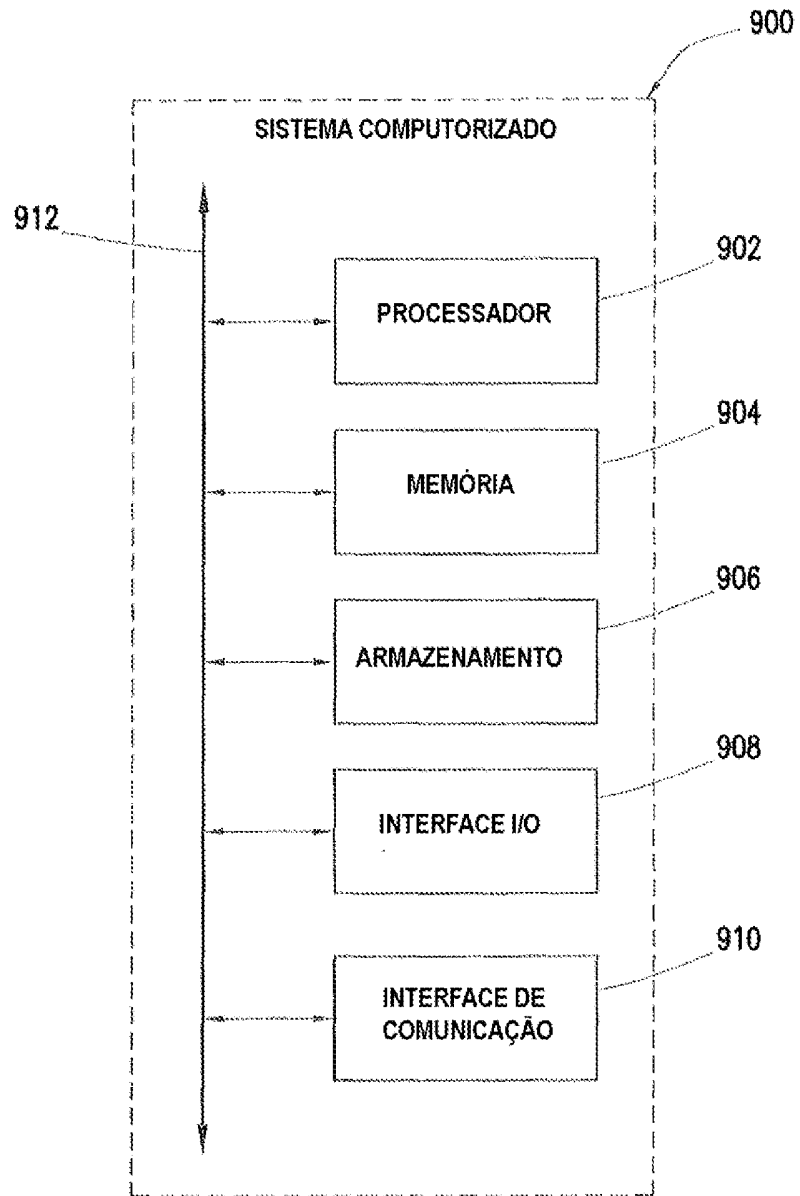


FIG. 9