

(12) **FASCÍCULO DE PATENTE DE INVENÇÃO**

(22) Data de pedido: <b>2015.07.13</b>	(73) Titular(es): <b>FUNDAÇÃO D. ANNA SOMMER CHAMPALIMAUD E DR. CARLOS MONTEZ CHAMPALIMAUD AV. BRASILIA 1400-038 LISBOA</b>	<b>PT</b>
(30) Prioridade(s):		
(43) Data de publicação do pedido: <b>2017.01.13</b>	(72) Inventor(es): <b>NUNO LOUREIRO VITOR B. PAIXÃO RUI M. COSTA FERNANDO SANTOS</b>	<b>PT PT PT PT</b>
(45) Data e BPI da concessão: <b>2023.03.29 67/2023</b>	(74) Mandatário: <b>MARIA DO ROSÁRIO MAY PEREIRA DA CRUZ AV DUQUE DE ÁVILA, 66, 7º 1050-083 LISBOA</b>	<b>PT</b>

(54) Epígrafe: **SISTEMA E MÉTODO PARA INTERFACE CÉREBRO-MÁQUINA DE APRENDIZAGEM DE OPERANTE**

(57) Resumo:

UM MÉTODO, SISTEMA E MEIOS LEGÍVEIS POR COMPUTADOR PARA UMA BMI USANDO UM DESCODIFICADOR FIXO (112) BASEADO EM RÁCIOS DE DIFERENTES BANDAS DE FREQUÊNCIA, QUE TORNAM O DESCODIFICADOR ROBUSTO, MENOS ¿NERVOSO¿, E RESISTENTE A PERTURBAÇÕES. O DESCODIFICADOR FIXO (112) PODE SER CONFIGURADO DE MANEIRA A UTILIZAR UM SUBCONJUNTO LIMITADO DE CANAIS DISPONÍVEIS. O DESCODIFICADOR PODE ASSIM SER OPTIMIZADO PARA CADA INDIVÍDUO E DEPOIS FIXADO. A SAÍDA



Fig. 1A

DO DESCODIFICADOR FIXO PODE SER DISPONIBILIZADA A UM PROGRAMA DE TREINO, ASSIM PERMITINDO QUE OS INDIVÍDUOS APRENDAM RAPIDAMENTE A CONTROLAR DISPOSITIVOS, BEM COMO A CONSOLIDAR ESSE CONTROLO. O PROGRAMA DE TREINO PROPORCIONA FEEDBACK CONTÍNUO DA TRANSFORMAÇÃO A DECORRER, QUE É EMITIDO PELO DESCODIFICADOR FIXO (112) EM CONJUGAÇÃO COM O FEEDBACK DAS TRANSFORMAÇÕES QUE JÁ DECORRERAM, EM QUE O FEEDBACK EXIBE EVIDÊNCIA POSITIVA QUANDO AS METAS DA TAREFA SÃO ALCANÇADAS.

## RESUMO

### **"SISTEMA E MÉTODO PARA INTERFACE CÉREBRO-MÁQUINA DE APRENDIZAGEM DE OPERANTE"**

Um método, sistema e meios legíveis por computador para uma BMI usando um decodificador fixo (112) baseado em raios de diferentes bandas de frequência, que tornam o decodificador robusto, menos 'nervoso', e resistente a perturbações. O decodificador fixo (112) pode ser configurado de maneira a utilizar um subconjunto limitado de canais disponíveis. O decodificador pode assim ser otimizado para cada indivíduo e depois fixado. A saída do decodificador fixo pode ser disponibilizada a um programa de treino, assim permitindo que os indivíduos aprendam rapidamente a controlar dispositivos, bem como a consolidar esse controle. O programa de treino proporciona feedback contínuo da transformação a decorrer, que é emitido pelo decodificador fixo (112) em conjugação com o feedback das transformações que já decorreram, em que o feedback exhibe evidência positiva quando as metas da tarefa são alcançadas.

## DESCRIÇÃO

### "SISTEMA E MÉTODO PARA INTERFACE CÉREBRO-MÁQUINA DE APRENDIZAGEM DE OPERANTE"

#### ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

A invenção aqui descrita diz genericamente respeito a uma interface cérebro-máquina de aprendizagem de operante. Em particular, a invenção refere-se a sistemas, métodos e produtos de programa de computador para implementação de uma interface cérebro-máquina baseada em electroencefalografia (EEG) utilizando um descodificador fixo, cuja saída pode comandar ou de outro modo operar uma diversidade de máquinas e próteses.

#### DESCRIÇÃO DA TECNOLOGIA CORRELACIONADA

Uma Interface Cérebro-Máquina (Brain Machine Interface - BMI) é uma via de comunicação directa desde um cérebro até um dispositivo externo. Esta comunicação pode ser conseguida usando um dispositivo de gravação que mede a actividade neural, em que o dispositivo de gravação transmite a actividade neural medida para um computador (ou qualquer outro dispositivo programável, incluindo hardware e software), o qual transforma e interpreta o sinal. O computador faz a alimentação do sinal para um actuador ou dispositivo exterior, em que o dispositivo exterior proporciona feedback para o utilizador relativamente ao desempenho, assim fechando o ciclo.

A pesquisa básica no que se refere a BMI's tem-se desenvolvido a um ritmo impressionante desde as primeiras

demonstrações nos finais dos anos 90, quando as experiências demonstraram de forma conclusiva que conjuntos de neurónios corticais poderiam controlar directamente um manipulador robótico. Na verdade, o objectivo ou utilização principal das BMI's até à data tem sido sob a forma de uma potencial nova terapia para restaurar o controlo motor em doentes com deficiência grave, por exemplo aqueles que sofrem de doenças ou outros condicionalismos médicos que afectam a movimentação de um doente, particularmente condicionalismos que envolvem o sistema nervoso central. A título de exemplo, como foi atrás sugerido, os exoesqueletos ou outras formas de tecnologias mecânicas de apoio podem tirar proveito da integração com uma BMI, a fim de proporcionar uma recém-descoberta liberdade a indivíduos que se encontravam previamente limitados devido à dificuldade de movimentação. De uma forma semelhante, os membros artificiais ou biónicos fazendo uso destas interfaces proporcionam a capacidade para controlo directo de uma prótese por parte de um utilizador, através da utilização de sinais neurais, em oposição à limitada manipulação mecânica, trazendo assim uma liberdade de actuação e de manipulação que se aproxima da que é oferecida por um membro natural.

Uma característica que distingue as BMI's passa por saber se elas utilizam técnicas invasivas, tais como implantes intracranianos, ou se implementam métodos não-invasivos para obter sinais neurais. No entanto, quer elas usem técnicas invasivas ou não-invasivas para obter sinais neurais, a informação contida nos sinais tem de ser interpretada de forma que possa ser tomada significativa acção com base em tal informação. Uma abordagem para a

concepção de um sistema de BMI é conhecida como a abordagem de descodificação. Utilizando esta técnica, é gerado um modelo matemático por um computador, a fim de relacionar (descodificar) a actividade neural gravada com os movimentos de membros naturais, assim fazendo a aprendizagem do "significado" de sinais neurais recebidos como uma função do tempo. Esta actividade pode então ser usada para prever movimentos, somente a partir de actividade neural. A maioria dos sistemas comerciais existentes no mercado fazem abordagem à BMI através de diferentes variantes deste paradigma.

Um exemplificativo sistema que implementa a técnica de descodificação é discutido no documento WO 2014/025772, intitulado "Systems and Methods for Responsive Neurorehabilitation", por Babak, *et al.* Em Babak, o autor propõe a recepção de sinais neurais através da utilização de um descodificador de característica adaptativa, o qual funciona de modo a extrair sinais específicos a partir de uma multiplicidade de sinais neurais que o sistema tipicamente recebe a partir do cérebro de um utilizador. Babak, em seguida, fornece o(s) sinal(is) extraído(s) a um descodificador de motor adaptativo, o qual está configurado de modo a mapear o(s) sinal(is) extraído(s) para obtenção de um sinal de comando de um dispositivo de reabilitação. O sinal de comando é emitido, deste modo controlando o dispositivo assim como provocando a geração e recepção de feedback sensorial proveniente do utilizador. Este feedback sensorial é também extraído pelo descodificador de característica adaptativa e passado para o descodificador de motor adaptativo, o qual ajusta em conformidade os seus parâmetros de mapeamento interno. Desta maneira, o dispositivo de reabilitação de

Babak adapta de forma dinâmica o controlo de saída, com base nos sinais descodificados que ele recebe a partir do utilizador.

A abordagem de descodificação requer informação sensorial e de outros estímulos, a qual já foi codificada no interior do cérebro de um operante, a ser reconstruída no contexto de um computador digital. Esta reconstrução dentro de um computador digital utiliza tipicamente redes neurais ou construções semelhantes, para prever estímulos recebidos com base em sinais neurais de entrada, e requer uma complexa aproximação ou modelização do operante. Por outras palavras, é necessário que o software que tenta implementar uma tal abordagem se adapte ele próprio aos sinais neurais de entrada, fazendo corresponder, ou mapeando de outro modo, tais sinais neurais a uma desejada saída que seja congruente com a entrada que ele está a receber. Uma tal abordagem sofre de inúmeros inconvenientes, como por exemplo limitações implícitas às tecnologias de aprendizagem de máquinas, dificuldade na resolução de problemas em que os resultados do treino são não-determinísticos e dependem de parâmetros iniciais, uma incapacidade para adicionar dados posteriormente adquiridos a fim de 'reensinar' um modelo existente, etc. Outras técnicas de descodificação tentam ultrapassar estes e outros inconvenientes, mas são simultaneamente acompanhadas por outros inconvenientes e limitações.

Tornam-se portanto necessários novos sistemas e métodos para aproveitar a dinâmica de mudanças neurais que permite a geração de sinais de comando, cuja lógica de negócio personalizada ("custom business logic") pode

então ser utilizada para executar tarefas específicas, arbitrárias.

### **SUMÁRIO DA INVENÇÃO**

A presente invenção proporciona sistemas, métodos e produtos de programa de computador que utilizam um descodificador fixo em conjugação com a recolha de actividade de sinais cerebrais, utilizando eléctrodos não invasivos para gerar sinais de saída que podem ser usados para realizar tarefas fixadas. A presente invenção permite que um utilizador aprenda rapidamente a controlar um dispositivo através do controlo de um descodificador fixo, o que vai melhorando ao longo do tempo através do uso continuado da invenção.

Modelos de realização da presente invenção proporcionam a uma BMI diversas melhorias inovadoras, incluindo a utilização de um descodificador fixo que se baseia não na potência de bandas individuais de frequência de EEG, mas sim em rácios de bandas de frequência diferentes, tornando o descodificador robusto, menos 'nervoso' e resistente a perturbações. A lógica de programação para o descodificador fixo pode ser instanciada em software, bem como em hardware (por exemplo, uma rede de portas lógicas programáveis - Field Programmable Gate Array), e pode ser configurada de modo a utilizar um limitado subconjunto de canais que estão disponíveis para o descodificador fixo. Nestas circunstâncias, o descodificador poderá ser optimizado para cada indivíduo ou tarefa (quais as bandas de frequência a utilizar, quais os particulares rácios ou algoritmos para processar os sinais recebidos, que canais, que pesos, etc.) e depois fixado em hardware ou

software, a fim de que um dado indivíduo possa aprender a controlar uma diversidade de dispositivos usando o descodificador (desde que os comandos de controlo utilizem a mesma transformação ou transformações).

A saída do descodificador fixo pode ser fornecida a um programa de treino que implementa parâmetros de feedback e de treino específicos, assim permitindo que os indivíduos aprendam rapidamente a controlar dispositivos, assim como a consolidar esse controlo. O programa de treino fornece feedback contínuo da transformação que está nesse momento a ser emitida pelo descodificador fixo, em conjugação com feedback das transformações que já decorreram (por exemplo, até um segundo antes), em que o feedback exhibe evidência positiva quando as metas da tarefa são alcançadas.

Tendo em vista o que atrás foi exposto, os modelos de realização da invenção são dirigidos para um método destinado à geração de um comando de saída por intermédio de um processador neural, através da utilização de uma interface cérebro-máquina de aprendizagem de operante. A invenção de acordo com este modelo de realização compreende: (i) a selecção de um ou mais eléctrodos, a partir de uma multiplicidade de eléctrodos, por intermédio de execução de código de programa no processador neural; e (ii) recepção de sinais neurais no processador neural provenientes de um ou mais dos eléctrodos seleccionados. São estabelecidos limites com base nos sinais neurais recebidos, assim como um temporizador no processador neural para definir uma velocidade de comandos de saída. Enquanto o temporizador não tiver expirado, o processador neural executa código

de programa para recuperação e processamento dos sinais neurais recebidos, e calcula um comando de controlo através da utilização de um descodificador fixo no processador neural que recebe os sinais neurais recuperados e processados como entrada.

Em situações em que o processador neural está ligado a um utilizador, a recepção de sinais neurais pelo processador neural compreende a recepção de sinais neurais a partir do operante, por exemplo através dos eléctrodos que podem ser aplicados no crânio do operante. Quando em funcionamento, o processador neural pode realizar uma verificação, ao executar código de programa para determinar se uma tarefa a decorrer está concluída. Como parte da conclusão de tarefa, a execução de código de programa no processador neural pode estabelecer um temporizador para definir uma subsequente velocidade de comandos de saída, bem como recuperar e processar os sinais neurais recebidos, enquanto o temporizador não tiver expirado. A execução de código de programa no processador neural pode proporcionar comandos de controlo, como por exemplo uma entrada para um subsequente componente de hardware ou software.

O estabelecimento da selecção de eléctrodos é dividido num subprocesso, de acordo com um modelo de realização da presente invenção. Mais especificamente, a selecção de um ou mais eléctrodos, a partir de uma multiplicidade de eléctrodos, pode incluir a apresentação de uma tarefa ao operante, a própria tarefa mediante o controlo da execução do código de programa no processador neural, e a aquisição de actividade neural do operante durante a apresentação da tarefa pelo processador neural. O

processador neural aplica critérios de selecção à actividade neural adquirida, e selecciona um ou mais eléctrodos que ultrapassem os critérios de selecção. Do mesmo modo, a selecção de eléctrodos pelo processador neural inclui a selecção de um subconjunto de eléctrodos pelo processador neural que ultrapassem os critérios de selecção. A aquisição de actividade neural pode ainda incluir a iniciação de um temporizador de selecção de eléctrodos, por intermédio de execução de código de programa no processador neural, a fim de definir uma janela sobre a qual o processador neural deverá adquirir actividade neural.

O processador neural pode ser operado no sentido de processar o sinal neural que ele recebe. De acordo com modelos de realização da presente invenção, o processamento dos sinais neurais recebidos compreende a atenuação do ruído de sinal em um ou mais canais contidos dentro dos sinais neurais recebidos, e o cálculo de uma densidade espectral para os - um ou mais - canais atenuados. É determinada a potência média em uma ou mais bandas seleccionadas para os - um ou mais - canais, e são determinadas rácios de potência para os - um ou mais - canais. A determinação de rácios de potência para um dado canal, a partir dos - um ou mais - canais, é feita, de acordo com um modelo de realização, por intermédio de execução de código de programa no processador neural a fim de calcular o rácio  $\frac{\gamma \cdot \theta}{\beta \cdot \delta}$ . O cálculo do comando de controlo, de acordo com diversos modelos de realização, compreende a instrução de código de programa no processador neural a fim de calcular  $\log(\sum_{chn=1}^n \text{rácio}_{chn(n)})$ .

Para além do exposto, o âmbito da presente invenção abrange meios não-transitórios legíveis por computador compreendendo código de programa que, quando executado por um processador programável, promove a execução de um método para geração de um comando de saída por um processador neural, através da utilização de uma interface cérebro-máquina de aprendizagem de operante. O código de programa, de acordo com um modelo de realização, inclui: (i) código de programa para selecção de um ou mais eléctrodos, a partir de uma multiplicidade de eléctrodos, por intermédio de execução de código de programa no processador neural; e (ii) código de programa para recepção de sinais neurais no processador neural provenientes de um ou mais eléctrodos seleccionados. É proporcionado código de programa a fim de estabelecer limites com base nos sinais neurais recebidos, e estabelecer um temporizador no processador neural a fim de definir uma velocidade de comandos de saída. O presente modelo de realização proporciona ainda código de programa para processamento dos sinais neurais recebidos pelo processador neural, enquanto o temporizador não tiver expirado, e para calcular um comando de controlo através da utilização de um descodificador fixo no processador neural, que recebe os sinais neurais recuperados e processados como entrada.

Além disso, pode ser disponibilizado código de programa como parte do processador neural, a fim de proporcionar o comando de controlo como uma entrada para um subsequente componente de hardware ou software. Um tal código de programa também pode incluir código de programa para realizar uma verificação no processador neural, a fim de determinar se uma tarefa a decorrer está concluída, assim

como código de programa para ajustar o temporizador de modo a definir uma subsequente velocidade de comandos de saída, e código de programa para recuperação e processamento dos sinais neurais recebidos enquanto o temporizador não tiver expirado.

O processador neural pode seleccionar eléctrodos, a partir dos quais ele recolhe sinais neurais para processamento. Nestas circunstâncias, o código de programa para seleccionar um ou mais eléctrodos a partir de uma multiplicidade de eléctrodos pode incluir código de programa para apresentação de uma tarefa ao operante, e código de programa para aquisição da actividade neural do operante durante a apresentação da tarefa pelo processador neural. Outras partes do código de programa podem aplicar critérios de selecção por intermédio do processador neural à actividade neural adquirida, e seleccionar, por intermédio do processador neural, um ou mais eléctrodos que ultrapassam os critérios de selecção. O código de programa para selecção de um ou mais eléctrodos também pode incluir código de programa para seleccionar um subconjunto de eléctrodos, por intermédio do processador neural, que ultrapassam os critérios de selecção.

No processamento de sinais neurais, o código de programa para processamento dos sinais neurais recebidos pode incluir código de programa para atenuação do ruído de sinal em um ou mais canais contidos dentro dos sinais neurais recebidos, e para cálculo de uma densidade espectral para os - um ou mais - canais atenuados. A execução do código de programa no processador neural inclui ainda código de programa para determinar a

potência média em uma ou mais bandas seleccionadas para os - um ou mais - canais, e código de programa para determinar rácios de potência para os - um ou mais - canais. O código de programa para cálculo do comando de controlo, de acordo com um modelo de realização, inclui código de programa para calcular  $\log(\sum_{chn=1}^n \text{rácio}_{chn(n)})$ .

### **BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS**

A invenção encontra-se ilustrada nas Figuras dos desenhos anexos, as quais se destinam a ser exemplificativas e não limitativas, nas quais os mesmos números de referência pretendem identificar peças idênticas ou correspondentes, e nas quais:

A Figura 1A apresenta um esquema do sistema que ilustra uma interface global cérebro-máquina utilizando um descodificador fixo, de acordo com um modelo de realização da presente invenção;

A Figura 1B apresenta um diagrama de blocos que ilustra um processador neural utilizando um descodificador fixo para executar uma tarefa, de acordo com um modelo de realização da presente invenção;

A Figura 2 ilustra uma interface de utilizador para uma aplicação de treino, de acordo com um modelo de realização da presente invenção;

A Figura 3 ilustra uma interface de utilizador para uma aplicação de treino, de acordo com um outro modelo de realização da presente invenção;

A Figura 4 apresenta um diagrama de fluxos que ilustra um método global para execução de um processador neural utilizando um descodificador fixo, de acordo com um modelo de realização da presente invenção;

A Figura 5A apresenta um diagrama de fluxos que ilustra um método para selecção de eléctrodos, de acordo com um modelo de realização da presente invenção;

A Figura 5B apresenta um diagrama de fluxos que ilustra um método para selecção de eléctrodos, de acordo com um outro modelo de realização da presente invenção;

A Figura 6 apresenta um diagrama de blocos que ilustra a selecção de um subconjunto de eléctrodos, a partir de um conjunto de eléctrodos disponíveis;

A Figura 7 apresenta um diagrama de fluxos que ilustra um método para aquisição e processamento de sinais por um descodificador fixo utilizando rácios de potência de canal, de acordo com um modelo de realização da presente invenção;

A Figura 8 apresenta um diagrama de fluxos que ilustra um processo para emissão de um comando, de acordo com um modelo de realização da presente invenção; e

A Figura 9 apresenta um diagrama de fluxos que ilustra um método para processamento de sinais, por intermédio de um descodificador fixo, a fim de determinar um comando de saída, de acordo com um modelo de realização da presente invenção.

## **DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO**

As matérias em consideração serão a partir daqui descritas de forma mais completa, fazendo referência aos desenhos anexos que fazem parte integrante da descrição e que mostram, a título de ilustração, modelos de realização exemplificativos nos quais a invenção pode ser experimentada. As matérias em consideração podem no entanto ser concretizadas numa diversidade de diferentes formas e, por conseguinte, as matérias em consideração abrangidas ou reivindicadas destinam-se a ser interpretadas como não estando limitadas a quaisquer modelos de realização exemplificativos aqui expostos; os modelos de realização exemplificativos são proporcionados apenas como meios ilustrativos. Dever-se-á perceber que podem ser utilizados outros modelos de realização e podem ser feitas mudanças estruturais, sem nos afastarmos do âmbito da presente invenção. Da mesma forma, pretende-se um âmbito razoavelmente amplo para as matérias em consideração reivindicadas ou abrangidas. Entre outras coisas, as matérias em consideração podem por exemplo ser concretizadas sob a forma de métodos, dispositivos, componentes, ou sistemas. Nestas circunstâncias, os modelos de realização podem por exemplo assumir a forma de hardware, software, firmware, ou uma qualquer combinação dos mesmos (com excepção do software por si só). A descrição detalhada que se segue não se destina portanto a ser considerada num sentido limitativo.

Ao longo das especificações e reivindicações, os termos podem ter significados, com detalhes sugeridos ou implícitos no contexto, que vão para além de um significado explicitamente estabelecido. Do mesmo modo, a

frase "num modelo de realização", tal como aqui é usada, não se refere necessariamente ao mesmo modelo de realização, e a frase "num outro modelo de realização", tal como aqui é usada, não se refere necessariamente a um modelo de realização diferente. Pretende-se, por exemplo, que as matérias em consideração que são reivindicadas incluam combinações de modelos de realização exemplificativos, no todo ou em parte.

A Figura 1 ilustra uma interface global cérebro-máquina utilizando um decodificador fixo, de acordo com um modelo de realização da presente invenção; especificamente, ela mostra a relação de ciclo fechado entre esses diferentes componentes. O sistema da Figura 1 compreende uma multiplicidade de eléctrodos **104** que estão aplicados no couro cabeludo de um utilizador **100**, os quais podem ser colocados, ou de outro modo mantidos no seu lugar, por intermédio de uma touca ou semelhante peça de vestuário **102** que mantenha o posicionamento espacial dos eléctrodos **104** sobre o couro cabeludo. Cada um dos múltiplos eléctrodos está em comunicação com um processador neural **108** por intermédio de cabos condutores individuais **106**, os quais são tipicamente constituídos por fios metálicos que servem como condutores para os sinais recebidos por um determinado eléctrodo **104**.

O processador neural **108** compreende hardware e software que podem ser operados no sentido de obter sinais neurais que foram recolhidos por um ou mais dos múltiplos eléctrodos **104** em contacto com o couro cabeludo do utilizador **100**. De acordo com diversos modelos de realização, o processador neural **108** pode recolher os sinais neurais recebidos para armazenamento local e

processamento em tempo quase real, ou pode processar os sinais em tempo real à medida que os sinais vão sendo recebidos pelo processador neural **108**. Em qualquer um dos modelos de realização, o processador neural **108** recebe um conjunto de sinais neurais, que podem ser graficamente representados **110** em conformidade com as diversas bandas de frequências recolhidas pelos eléctrodos **104**, por exemplo ondas delta, teta, alfa e beta.

O processador neural **108** pode utilizar sinais neurais que ele recebe a partir de cada um dos eléctrodos **104** ligados ao couro cabeludo do utilizador **100**. Em alternativa, o processador neural **108** pode seleccionar um subconjunto dos eléctrodos disponíveis através dos quais ele está a receber sinais neurais, limitando o processamento aos sinais neurais recebidos a partir dos eléctrodos seleccionados **104**. O processador neural **108** extrai as diversas bandas de frequências contidas nos sinais neurais recebidos a partir dos eléctrodos **104** em consideração, por exemplo utilizando técnicas espectrais que são bem conhecidas dos especialistas nesta tecnologia, e passa os valores para as várias bandas, num dado instante no tempo, para um descodificador fixo **112**. Com base nos valores das várias bandas, num dado instante no tempo, o descodificador fixo **112** calcula um valor de saída que pode ser utilizado como um comando de controlo por uma aplicação **114**, a fim de executar uma tarefa específica, arbitrária.

O processador neural **108** recebe, de forma contínua, sinais neurais provenientes dos eléctrodos **104** e extrai várias bandas, as quais são passadas para um descodificador fixo **112** que gera valores de saída a serem

usados por uma aplicação **114** a fim de executar uma tarefa. Desta maneira, o utilizador **100** pode continuar a enviar sinais ao longo de um período de tempo, para interacção com a aplicação. Por exemplo, o descodificador fixo **112** pode emitir um sinal de comando que representa a posição de um cursor ao longo de um período de tempo, um sentido para mover um objecto num ecrã, etc. À medida que o utilizador **100** interage com o processador neural **108**, ele ou ela recebe feedback a partir da interface de utilizador da aplicação **114**, por exemplo o cursor desloca-se num sentido particular. Ao lhe ser fornecido feedback a partir da interface de utilizador, o utilizador **100** pode rapidamente aprender a controlar tarefas específicas, arbitrárias, que uma aplicação apresenta, bem como a consolidar um tal controlo.

A Figura 1B apresenta um diagrama de blocos que ilustra um processador neural utilizando um descodificador fixo para executar uma tarefa, de acordo com um modelo de realização da presente invenção. O processador neural **130** da Figura 1B está em comunicação, tanto com um conjunto de um ou mais eléctrodos **132** como com um dispositivo de visualização **152**. Em funcionamento, o processador neural **130** recebe sinais neurais provenientes do conjunto de um ou mais eléctrodos **132**, e processa os sinais neurais recebidos utilizando um descodificador fixo **148**. O descodificador fixo **148** emite sinais de comando para serem usados por uma aplicação **136**, bem como feedback para um dispositivo de visualização **152** dizendo respeito ao sinal de comando que foi calculado com base nos sinais neurais gerados pelo utilizador. Deve notar-se que o ecrã **152** pode ser substituído por qualquer número de terminais periféricos a serem controlados, em modelos de realização

da presente invenção. Por exemplo, em vez de um ecrã, o sinal de comando emitido pelo descodificador fixo **148** pode ser interpretado por lógica de negócio destinada a um aplicação de controlo de voo, de tal forma que o ecrã **152** e a interface de visualização **150** que lhe está associada são substituídos por uma interface de controlo de voo e por controlos de voo. Da mesma forma, os sinais de comando podem ser usados para controlar uma cadeira de rodas, membro protético, ou virtualmente quaisquer outros dispositivos que requeiram a recepção de sinais de comando, como por exemplo sinais de comando direccionais.

Concentrando-nos no modelo de realização que a Figura 1B ilustra, um certo número de eléctrodos **132** está em comunicação com o processador neural **130** através de uma interface de entrada neural **134**. A interface de entrada neural **134** - sob o controlo da unidade de processamento central **136** que executa, ela própria, instruções recebidas a partir da RAM **140** ou ROM **142** - executa uma ou mais rotinas para limpar ou de outra forma amplificar bandas específicas contidas dentro dos sinais neurais que o processador neural está a receber provindo dos eléctrodos. Serão aqui descritas em maior detalhe técnicas para a selecção de eléctrodos específicos e de bandas de frequência compreendendo as mesmas.

Para além da interface de entrada neural **134** e da interface de visualização **150**, o processador neural **130** compreende uma unidade central de processamento ("CPU") **136**, RAM **140** e ROM **142**, memória persistente **138**, um módulo selector de eléctrodos **144**, um descodificador fixo **148** e lógica de negócio específica para tarefas **146**. A CPU **136** é o principal componente de controlo do

processador neural **130**, e pode executar instruções em nome de, ou em conjugação com, outros componentes que constituem o processador neural **130**. Embora apresentados como componentes ou módulos discrepantes, a lógica de programação - que inclui o selector de eléctrodos **144**, decodificador fixo **148** e lógica de negócio de tarefas **146** - pode ser implementada, de acordo com vários modelos de realização, sob a forma de aplicações de software ou rotinas que são guardadas em memória de acesso aleatório **140** ou memória persistente **138** para serem executadas pela CPU.

Tal como ilustrado, o processador neural **130** tem acesso a diversas estruturas de armazenamento de dados que proporcionam memórias de dados transientes **140**, persistentes **138** e permanentes **142**, e a código de programa. A memória persistente **138** proporciona armazenamento de dados e código de programa entre sessões, quando o processador neural **130** entra num estado de corte de energia. Como exemplos de memórias persistentes **138** referem-se, mas não estando a elas limitados, *drives* de disco rígido e memória flash, cada uma das quais permite que o processador neural mantenha código de programa, bem como sinais neurais recolhidos a partir de um ou mais utilizadores ao longo de um determinado período de tempo. A memória transiente, tal como a RAM **140**, proporciona um espaço de memória de alta velocidade para que a CPU mantenha a execução de código de programa e quaisquer dados necessários para executar tal código de programa, enquanto a memória permanente, tal como a ROM **142**, proporciona instruções só de leitura normalmente utilizadas pela CPU no arranque e inicialização.

Como indicado, o processador neural **130** também compreende um selector de eléctrodos **144**, um descodificador fixo **148** e lógica de negócio de tarefas **146**. O selector de eléctrodos **130** é operado no sentido de executar uma ou mais rotinas (que podem ser executadas em conjugação com o processamento pela CPU), as quais seleccionam os eléctrodos específicos a partir dos quais são lidos os sinais neurais e se extraem bandas de frequências para processamento. As bandas de frequência que o selector de eléctrodos **144** emite são fornecidas como entrada para o descodificador fixo **148**, que produz um valor de controlo ou sinal, o qual ele pode calcular com base nos níveis de potência para as bandas de frequência específicas que o selector de eléctrodos **144** disponibiliza como entrada para o descodificador fixo **148**.

O descodificador fixo **148** emite o sinal de comando para a lógica de negócio de tarefas **146** que é operada no sentido de executar uma tarefa com base na instrução incorporada no sinal de comando. De acordo com um modelo de realização, um sinal de comando abaixo de um certo valor serve como um comando para que a lógica de negócio de tarefas redesenhe de uma certa maneira um ecrã de visualização, manipule um cursor numa certa dimensão, etc. A lógica de negócio de tarefas **146** é específica para tarefas e pode ser modificada em função da tarefa específica à qual a lógica de negócio é dirigida. A lógica de negócio de tarefas **146** pode estar programada em várias combinações de hardware e software para responder de uma maneira particular a sinais de comando provenientes do descodificador fixo **148**. Por exemplo, quando a tarefa for a de controlar um cursor sobre um ecrã, a lógica de negócio de tarefas pode ser programada

de maneira a tomar uma certa acção relativamente à visualização do cursor, com base nos sinais de comando que ela recebe a partir do descodificador fixo.

As Figuras 2 e 3 ilustram interfaces de utilizador para uma aplicação de treino, de acordo com vários modelos de realização da presente invenção. As interfaces de utilizador das Figuras 2 e 3 representam modelos de realização da emissão proveniente de lógica de negócio de tarefas, na qual a lógica de negócio de tarefas é operada no sentido de instruir um processador a fim de exibir uma interface de utilizador e manipular um cursor que se desloca dentro da interface de utilizador, com base em sinais de comando que a lógica de negócio recebe a partir de um descodificador fixo. Começando pela Figura 2, a interface do utilizador é apresentada ao utilizador no seio de um dispositivo de visualização **202** sob a forma de diversos gráficos. A interface de utilizador no ecrã **202** apresenta uma tarefa para que o utilizador a complete que, no presente modelo de realização, consiste em solicitar ao utilizador que tente manipular um cursor **210** ao longo de uma linha-alvo superior **204**. Os requisitos da tarefa são comunicados ao utilizador por intermédio de um comando ou sinalização visual, representado por uma seta apontando para cima **214** que está disposta no canto superior direito da interface, no ecrã **202**.

Para além da tarefa imediata apresentada ao utilizador, a interface de utilizador no ecrã **202** fornece ao utilizador um feedback histórico **212** dizendo respeito à posição do cursor **210** no ecrã **202** ao longo do tempo. Desta maneira, o utilizador pode fazer observações históricas relativamente à saída do descodificador fixo, e modificar

a potência de várias bandas de frequência que estão contidas nos sinais neurais que o processador neural está a receber. Este percurso visual de feedback histórico **212** que o processador está programado para exibir pode ser ampliado ou diminuído mas representa, em qualquer um dos casos, o posicionamento histórico do cursor em espaço 2D durante a sessão a decorrer para um utilizador actual.

À medida que o utilizador interage com o processador neural, enviando sinais neurais para o processador neural, o decodificador fixo calcula, ou gera de outro modo, sinais de comando que a lógica de negócio de tarefas usa para posicionar o cursor no ecrã **202**. Quando o utilizador cumpre uma tarefa em curso que, no presente modelo de realização, consiste em posicionar o cursor acima de uma linha-alvo superior **204** apresentada no visor **202**, tal como identificado pela sinalização **214**, o código de programa que controla o ecrã **202** pode instruir o processador no sentido de apresentar, ou projectar de outra forma, uma indicação de cumprimento de tarefa, por exemplo exibir uma indicação visual ou texto indicativo de sucesso. Embora a exemplificativa lógica de negócio de tarefas receba sinais de comando provenientes do decodificador fixo a fim de apresentar o cursor no ecrã **202** em espaço 2D, a lógica de negócio de tarefas também pode controlar a apresentação e exibição de outros componentes de interface de utilizador no ecrã **202**. Em alternativa, ou em conjugação com a lógica de negócio de tarefas, outro código de programa que a CPU execute pode controlar a apresentação e exibição de outros componentes de interface de utilizador no ecrã **202**.

Para além dos componentes de interface de utilizador atrás citados, o ecrã também apresenta duas linhas interiores de restabelecimento **206a** e **206b**, bem como uma linha-alvo inferior **208**. A linha-alvo inferior **208**, tal como a linha-alvo superior, serve como um limite visual ao longo do qual o utilizador deve manipular o cursor para cumprir certas tarefas, como foi aqui discutido em maior detalhe. As linhas de restabelecimento **206a** e **206b** permitem que o utilizador restabeleça a tarefa em curso, ao manter o cursor entre as duas linhas interiores de restabelecimento durante um certo período de tempo.

De forma semelhante à Figura 2, a Figura 3 ilustra uma interface de utilizador que é apresentada ao utilizador no seio de um dispositivo de visualização **302**, sob a forma de diversos gráficos. A interface de utilizador no ecrã **302** apresenta uma tarefa para o utilizador completar que, no presente modelo de realização, consiste em solicitar ao utilizador que tente manipular um cursor **310** ao longo de uma linha-alvo inferior **304**. Um comando ou sinalização visual comunica os requisitos da tarefa ao utilizador, o que, no presente modelo de realização, é representado por uma seta a apontar para baixo **314** disposta no canto inferior direito da interface, no ecrã **302**.

Para além da tarefa imediata apresentada ao utilizador, a interface de utilizador no ecrã **302** fornece ao utilizador um feedback histórico **312** dizendo respeito à posição do cursor **310** no ecrã **302** ao longo do tempo. Desta maneira, o utilizador pode fazer observações históricas relativamente à saída do descodificador fixo e modificar a potência de várias bandas de frequência que estão

contidas nos sinais neurais que o processador neural está a receber. Este percurso visual de feedback histórico **312** pode ser ampliado ou diminuído mas representa, em qualquer um dos casos, o posicionamento histórico do cursor em espaço 2D durante a sessão a decorrer para um utilizador actual.

Quando o utilizador cumpre uma tarefa em curso que, no presente modelo de realização, consiste em posicionar o cursor acima de uma linha-alvo inferior **304** apresentada no ecrã **302**, tal como identificado pela sinalização **314**, o código de programa que controla o ecrã **302** pode apresentar, ou projectar de outra forma, uma indicação de cumprimento de tarefa, por exemplo exibindo uma indicação visual ou texto indicativo de sucesso. Embora a exemplificativa lógica de negócio de tarefas receba sinais de comando provenientes do descodificador fixo a fim de apresentar o cursor no ecrã **302** em espaço 2D, a lógica de negócio de tarefas também pode controlar a apresentação e exibição de outros componentes de interface de utilizador no ecrã **302**. Em alternativa, ou em conjugação com a lógica de negócio de tarefas, outro código de programa que a CPU execute pode controlar a apresentação e exibição de outros componentes de interface de utilizador no ecrã **302**. Para além dos componentes de interface de utilizador atrás citados, o ecrã também apresenta duas linhas de restabelecimento **306a** e **306b**, bem como uma linha-alvo superior **308**, qualquer uma delas funcionando de uma maneira análoga à descrita em conjugação com a Figura 2.

Como descrito anteriormente, as interfaces de utilizador ilustradas pelas Figuras 2 e 3 podem fazer parte da

lógica de negócio de tarefas que solicita ao utilizador para manipular um cursor em espaço 2D ao longo de um período de tempo. De acordo com um modelo de realização, a tarefa consiste em três exercícios de dez (10) minutos realizados por dia, ao longo de um período de treino de dez (10) dias (por exemplo, uma sessão diária durante duas semanas, com uma pausa de 2 dias a meio). Durante o período dos exercícios, a actividade neural de um conjunto de eléctrodos de EEG é gravada e simultaneamente transformada, utilizando o decodificador fixo, sendo essa informação utilizada para ajustar a posição de um cursor num ecrã. Tanto o decodificador como os eléctrodos seleccionados somente são estabelecidos uma vez, durante a primeira sessão, e não irão mudar ao longo de todo o período de treino. De acordo com um modelo de realização, a tarefa é concebida da seguinte maneira: mostra-se ao utilizador uma sinalização - por exemplo, a sinalização **214** ou sinalização **314** - que indica uma de duas possíveis áreas-alvo para onde o cursor deverá ser dirigido, por exemplo acima da linha de controlo superior **204** ou abaixo da linha de controlo inferior **208**. É apresentada uma indicação visual agradável quando é atingido o objectivo correcto, a qual pode incluir um "autocolante" colorido preenchendo o ecrã, proporcionando assim um reforço positivo ao utilizador. Este é considerado como um exercício correcto. Pelo contrário, se for atingido o objectivo incorrecto, ou tiverem decorrido trinta (30) segundos, não é dado reforço e o exercício é concluído como incorrecto. A fim de reiniciar um novo exercício, o utilizador precisa de manter durante dois (2) segundos o cursor numa posição central, em conjugação com as linhas de restabelecimento.

A Figura 4 apresenta um diagrama de fluxos que ilustra um método global para execução de um processador neural utilizando um descodificador fixo, de acordo com um modelo de realização da presente invenção. Tal como anteriormente indicado, o utilizador pode estar equipado com uma multiplicidade de eléctrodos através dos quais o processador neural capta sinais neurais para processamento. Nestas circunstâncias, o processo da Figura 4 começa com a selecção de eléctrodos a partir do conjunto de eléctrodos disponíveis, passo **402**. Uma vez que tenha sido feita uma determinação relativamente aos eléctrodos que virão a ser usados para captar sinais neurais destinados à tarefa, são estabelecidos limites para o utilizador com base nos sinais neurais recolhidos, passo **404**. Os processos de selecção de eléctrodos e estabelecimento de limites da tarefa serão agora descritos em maior detalhe.

De acordo com alguns modelos de realização, a frequência de aquisição de EEG é mais elevada do que a frequência de processamento/feedback (respectivamente 2048 Hz e 4 Hz). Por esta razão, os dados de EEG recolhidos podem ser armazenados numa memória-tampão para recuperação a frequências mais baixas, passo **406**. Uma verificação é realizada para determinar se a memória-tampão contém todos os dados necessários para calcular a posição actual do cursor, os quais correspondem aos dados neurais do segundo anterior (2048 pontos). Enquanto não for este o caso, o método continua a verificar a memória-tampão, até que a memória-tampão esteja preenchida, passo **408**. A posição do cursor é actualizada a cada 250 ms, de acordo com certos modelos de realização, o que significa que a memória-tampão irá sempre conter 250 ms (512 pontos) de

“novos” dados de EEG para processamento, em conjugação com 750ms (1536 pontos) de dados que foram processados nos passos temporalmente antecedentes. Quando a memória-tampão estiver preenchida, o processador neural processa os dados utilizando o descodificador fixo, passo **410**, e o descodificador fixo calcula, ou determina de outra forma, e emite um comando de controlo, passo **412**, com base nos sinais neurais que ele tiver recuperado e processado usando a última janela de recolha.

Após emissão do comando de controlo, passo **412**, o software em execução no processador neural instrui o processador no sentido de executar uma verificação para determinar se está concluída a tarefa que o utilizador está a executar, passo **414**. Em situações nas quais o utilizador continua a interagir com uma aplicação através da utilização de descodificador fixo no processador neural, passo **416**, o fluxo do programa regressa ao passo **406**. Nestas circunstâncias, o processador neural recupera de novo os dados a partir da memória-tampão e verifica se a memória tampão está preenchida, permitindo que o processador processe os sinais neurais e emita os comandos a partir do descodificador. Quando se conclui a tarefa activa, o processo termina no passo **416**.

Quando se utiliza inicialmente o processador neural, de acordo com diversos modelos de realização da presente invenção, é realizado um cálculo de referência para seleccionar eléctrodos a serem utilizados para a recolha de sinais neurais e para calibrar o processador neural ao estabelecer limites de activação. Um subconjunto de eléctrodos disponíveis pode ser seleccionado para um dado utilizador, com base na actividade neural de referência.

A Figura 5A apresenta um diagrama de fluxos que ilustra um método para selecção de eléctrodos, de acordo com um modelo de realização da presente invenção.

De acordo com o processo ilustrado pela Figura 5A, um método para selecção de eléctrodos é conduzido ao longo de uma janela de recolha e processamento, a qual é iniciada ao arrancar com um temporizador de selecção de eléctrodos. De acordo com um modelo de realização, o período para recolha e processamento da selecção de eléctrodos decorre ao longo de uma janela de cinco (5) minutos. Enquanto a janela estiver aberta, ou seja, o temporizador de selecção de eléctrodos não tiver expirado, o processador neural apresenta uma tarefa ao utilizador, passo **504**, e continua a adquirir a actividade neural natural do utilizador, passo **506**. A título de exemplo, pode ser conduzida uma operação de recolha de referência ao longo de uma janela de cinco (5) minutos, durante a qual é pedido ao utilizador que olhe para um ecrã de visualização onde é exibida uma foto de uma tarefa. Durante este período de tempo, o utilizador não tem controlo sobre a tarefa, e o principal objectivo da exibição é o de permitir que o processador neural adquira sinais neurais a partir do utilizador, sem fornecer qualquer feedback ao utilizador. Isto permite a aquisição da actividade neural natural do utilizador.

Durante a apresentação da tarefa e a aquisição de sinais neurais, passos **504** e **506**, o sistema executa uma verificação para determinar se o temporizador de selecção de eléctrodos terá expirado, passo **508**. Se o temporizador de selecção de eléctrodos não tiver expirado, o fluxo de programa regressa ao passo **504**, com o que o processador

neural continua a apresentar a tarefa ao utilizador e a recolher actividade neural natural. Quando o temporizador expira e se conclui a recolha de sinais neurais, os sinais neurais recolhidos são processados de acordo com diversos critérios de selecção, passo **510**. A aplicação de critérios de selecção encontra-se descrita em maior detalhe em associação com a Figura 5B.

Os critérios de selecção permitem que o processador neural limite a sua recolha de sinais neurais a um certo número de eléctrodos que satisfazem os critérios de selecção, passo **512**. Mais especificamente, quando o utilizador está equipado com uma multiplicidade de eléctrodos, o processador neural apenas selecciona um certo número daqueles eléctrodos que satisfazem os critérios de selecção. Por exemplo, suponha-se que o utilizador está equipado com vinte (20) eléctrodos; o processador neural poderá seleccionar os cinco (5) eléctrodos que melhor satisfaçam os critérios de selecção. Em alternativa, o método da Figura 5A pode operar de uma maneira tal que o método execute a sua análise em várias combinações de conjuntos de eléctrodos, em oposição a eléctrodos individuais.

A Figura 5B ilustra a aplicação dos critérios de selecção como fazendo parte do processo de selecção de eléctrodos exposto na Figura 5A. O processo da Figura 5B começa, passo **520**, com a selecção de um primeiro subconjunto de eléctrodos a serem considerados para análise, passo **522**. Por exemplo, se o subconjunto de eléctrodos a serem considerados for de cinco (5) eléctrodos, e o conjunto total de eléctrodos sob consideração for dezassete (17), o processo deve realizar a sua análise em seis mil cento

e oitenta e oito (6188) combinações de cinco eléctrodos. Nestas circunstâncias, é seleccionado um primeiro subconjunto de eléctrodos, passo **522**, e é aplicada uma primeira ordem de classificação de acordo com o afastamento em relação à normalidade para um dado subconjunto, passo **524**. De acordo com um modelo de realização, um teste de Kolmogorov-Smirnov de amostra única é aplicado para testar a normalidade da distribuição de qualquer amostra, o que implica a standardização de uma dada amostra para comparação com uma distribuição normal standardizada.

Adicionalmente à primeira ordem de classificação, passo **524**, é aplicada uma segunda ordem de classificação para classificar os subconjuntos de acordo com a assimetria, passo **526**, que consiste numa medição da assimetria da distribuição de probabilidade de uma variável de valor real em torno do seu valor médio. Subsequentemente à respectiva aplicação da primeira ordem de classificação e da segunda ordem de classificação, passos **524** e **526**, é realizada uma verificação para determinar se existem quaisquer adicionais subconjuntos de eléctrodos sob consideração que requeiram classificação, passo **528**. Quando existirem adicionais subconjuntos sob consideração, o processamento regressa ao passo **522**, sendo os adicionais subconjuntos processados de acordo com a primeira e segunda ordem de classificação atrás descritas.

Após classificação e ordenação dos vários subgrupos de eléctrodos sob consideração, passos **522** a **528**, o método prossegue com o estabelecimento de limites específicos para a selecção de subconjuntos de eléctrodos, passo **530**.

O estabelecimento de limites específicos para a selecção de subconjuntos de eléctrodos pode ser arbitrariamente baseado num subjectivo "bom ajustamento" a uma dada tarefa, e de tal modo que tais limites não sejam nem demasiado fáceis nem muito difíceis de alcançar. Existe assim uma ampla variação em relação aos limites específicos que um dado sistema pode implementar. De acordo com um modelo de realização, e com base na interface que as aplicações de treino da Figura 2 e Figura 3 apresenta, podem ser estabelecidos limites relativamente à tarefa dada para 2,9 vezes o desvio padrão, e identificados subconjuntos de eléctrodos, por exemplo subconjuntos de cinco eléctrodos, que correspondam à condição a atingir para a tarefa para um número definido de vezes durante a inicialização. Por exemplo, no passo **530** e no contexto da Figura 2, o método pode identificar subconjuntos de eléctrodos que correspondam à condição a atingir para a tarefa (por exemplo cruzamento da linha-alvo superior) quatro vezes durante um período de cinco minutos.

São estabelecidos limites para a tarefa, passo **530**, e um primeiro subconjunto de eléctrodos é seleccionado para ser considerado, em conformidade com os limites estabelecidos, passo **532**. Os critérios de limite são aplicados ao subconjunto de eléctrodos sob consideração, e é realizada uma verificação para determinar se o subconjunto sob consideração satisfaz os critérios de limite estabelecidos, passo **534**. Quando o subconjunto sob consideração corresponder aos critérios limite para selecção, o processamento prossegue para o passo **536** sendo o subconjunto sob consideração marcado como um candidato a selecção. Independentemente de ser ou não

verdadeira a verificação que o método realizou no passo **534**, o fluxo de programa é contudo dirigido em última análise para o passo **537**, onde é realizada uma verificação para determinar se existem subconjuntos adicionais sob consideração que exijam análise perante os limites estabelecidos na etapa **530**. Quando subconjuntos adicionais requeiram ser considerados, é seleccionado um subsequente subconjunto para análise, passo **532**.

Uma vez que é possível (embora numa probabilidade bastante remota) que muitos ou todos os subconjuntos de eléctrodos sob consideração consigam satisfazer os limites de critérios de selecção, o método realiza uma classificação para ordenar os subconjuntos sob consideração que satisfaçam os limites de critérios de selecção, passo **538**. É feita uma selecção, passo **540**, de modo a ser seleccionado o subconjunto com classificação mais elevada como sendo o subconjunto de eléctrodos que o processador neural pode usar para recolher sinais neurais destinados a processamento, e para a emissão de sinais de comando com base nos mesmos. Quando existir um empate de  $n$  hipóteses ("n-way tie") para o subconjunto de eléctrodos com a mais alta classificação, passo **540**, o método pode realizar uma selecção arbitrária de qualquer subconjunto de eléctrodos presente no empate de  $n$  hipóteses.

Com base na metodologia de selecção de eléctrodos (Figura 5A) e na aplicação de critérios de selecção (Figura 5B), a Figura 6 apresenta um diagrama de blocos que ilustra a selecção de um subconjunto de eléctrodos a partir de um conjunto de eléctrodos disponíveis. De acordo com o modelo de realização da Figura 6, um utilizador **602** está

equipado com um certo número de eléctrodos - tais como os eléctrodos **604a**, **604b** e **604c** - que estão afastados segundo um determinado padrão ao longo do crânio do utilizador **602**. Como indicado anteriormente, o conjunto de eléctrodos - por exemplo, eléctrodos **604a**, **604b** e **604c** - pode ser aplicado no couro cabeludo do utilizador **602** de acordo com diversas técnicas, tais como a utilização de adesivos ou a aplicação dos eléctrodos numa touca ou peça de vestuário semelhante, que é então usada pelo utilizador **602**.

De acordo com certos modelos de realização da invenção, apenas um subconjunto do número total de eléctrodos disponíveis é analisado, ou de outra maneira questionado, para determinar se a qualidade dos sinais recebidos é adequada para comandar uma BMI usando um descodificador fixo, tal como foi atrás descrito. A título de ilustração exemplificativa, há um conjunto de dezassete (17) eléctrodos **618** que estão sob consideração, relativamente ao conjunto total de eléctrodos (o "conjunto de análise") com que o utilizador **602** foi equipado. Considerando o conjunto de análise, os modelos de realização da presente invenção analisam os sinais neurais a partir de diversas combinações de subconjuntos de eléctrodos constituindo o conjunto de análise, por exemplo subconjuntos de cinco (5) eléctrodos. Partindo de um conjunto de dezassete eléctrodos no conjunto de análise, a análise dos sinais neurais recebidos ao longo de um período de tempo e provenientes de combinações de cinco subconjuntos de eléctrodos proporciona uma gama de seis mil cento e oitenta e oito (6188) possíveis subconjuntos para analisar.

Aplicando uma metodologia de selecção de eléctrodos e critérios de selecção **616**, tais como foram respectivamente descritos em associação com a Figura 5A e a Figura 5B, é seleccionado um subconjunto de cinco eléctrodos para ser usado na recolha de sinais neurais, em conjugação com a operação da BMI que o processador neural proporciona. De acordo com o presente exemplo, existiam inicialmente dezassete eléctrodos no conjunto de análise. A partir do conjunto de análise, foi seleccionado um subconjunto de cinco eléctrodos que satisfaziam a metodologia de selecção, o qual inclui os eléctrodos **606**, **608**, **610**, **612** e **614**. Os especialistas nesta tecnologia percebem que, da aplicação de quaisquer metodologias de selecção específicas, incluindo as aqui descritas, pode resultar a selecção de um subconjunto diferente de eléctrodos para um qualquer utilizador, embora seja possível que dois utilizadores distintos utilizem o mesmo subconjunto de eléctrodos.

A Figura 7 apresenta um diagrama de fluxos que ilustra um método para aquisição e processamento de sinais por um decodificador fixo, utilizando rácios de potência de canal de acordo com um modelo de realização da presente invenção. De acordo com o presente modelo de realização, um método para determinar rácios de potência, para um ou mais canais dados, começa com a inicialização do sistema e o estabelecimento de limites de selecção de canal, passo **702**. Contida dentro deste passo também se pode encontrar a selecção de um específico conjunto ou subconjunto de eléctrodos, a partir dos quais deverão ser adquiridos sinais neurais para processamento por um decodificador fixo.

O método prossegue com uma verificação para determinar se existem adicionais canais a serem processados, passo **704**, o que prova ser verdade na primeira iteração do ciclo e provoca a selecção de um primeiro canal para processamento. Enquanto o passo **704** provar ser verdadeiro, o fluxo de programa move-se para o passo **706** no qual o método atenua o ruído de sinal no canal seleccionado que foi dado. De acordo com um modelo de realização, o método implementa um filtro de ranhura ("notch filter") - também designado como um filtro de paragem de banda ou de rejeição de banda - para atenuar frequências em torno de um determinado valor, por exemplo 50 Hz. O método aplica ainda um filtro ao sinal, o qual pode consistir num filtro Butterworth. De acordo com um modelo de realização, o filtro Butterworth é de ordem quatro (4) entre um de 1 Hz e 50 Hz. A utilização de um filtro Butterworth no passo **708** permite que os sinais neurais de entrada num dado canal tenham uma resposta de frequência tão plana quanto possível do lado de fora da banda passante.

De acordo com o modelo de realização da Figura 7, o método prossegue através da remoção da tendência linear ou valor médio relativamente a um determinado sinal neural, passo **710**, o que pode ser conseguido pelo método através da utilização de uma função de eliminação de tendência para remover tendências de longo prazo relativamente ao sinal neural de entrada, e enfatizar mudanças de curto prazo. A lógica de programação que implementa o método executa um cálculo para determinar a densidade espectral do sinal neural resultante no canal, passo **712**, e a potência média determinada para um certo número de bandas contidas dentro do sinal, passo **714**. De

acordo com um modelo de realização, o método calcula potências médias para as seguintes bandas: beta ( $\beta$ ) (14 Hz a 24 Hz), gama ( $\gamma$ ) (30 Hz a 80 Hz), delta ( $\delta$ ) (1 Hz a 4 Hz) e teta ( $\theta$ ) (4 Hz a 8 Hz). Assim que o método determinar a potência média para bandas seleccionadas num dado canal, passo **714**, o fluxo de programa regressa ao passo **704** e o método realiza mais uma verificação para determinar se existem canais adicionais que requeiram processamento.

Após conclusão do processamento de sinais neurais nos canais que foram disponibilizados pelo subconjunto de eléctrodos seleccionado, o método conclui com a determinação dos rácios de potência para tais canais, passo **716**. De acordo com um modelo de realização da invenção, o método da Figura 7 implementa um rácio de potência de acordo com a seguinte equação 1:

$$\text{rácio} = \frac{\gamma \cdot \theta}{\beta \cdot \delta}$$

Equação 1

Utilizando o rácio de potência da equação 1, o método proporciona um valor de potência global ao processador neural para o canal dado, de acordo com os níveis de potência das bandas discretas sob consideração.

Os especialistas nesta tecnologia dever-se-ão aperceber que o método da Figura 7 não requer quaisquer específicos rácios ou combinações de potência de diferentes frequências de sinais neurais de entrada; os rácios de potência das bandas presentemente descritos são dados a título de exemplo e não pretendem ser limitativos. Por outro lado, o descodificador fixo pode utilizar

informação adicional para além dos níveis de potência de bandas específicas, por exemplo características no domínio do tempo tais como amplitudes de sinal, etc. O seguinte pseudocódigo exemplificativo de acordo com um modelo de realização da presente invenção implementa os passos de processamento expostos na Figura 7:

```

definir parâmetros de filtro Butterworth
aplicar filtro Buterworth ao sinal

definir parâmetros de filtro de ranhura
aplicar filtro de ranhura ao sinal

% Spectrogram
para Canal i em NCanais
    eliminar tendência de sinal = eliminar
    tendência (dados (Canal i))
    calcular PSD de eliminar tendência de
    sinal
fim

% Calcular potência média de bandas
beta = média (psd [14:24]);
gama = média (psd [30:80]);
delta = média (psd [1:4]);
teta = média (psd [4:8]);

% Calcular rácio de potência
Rácio de potência = (teta * gama)/(delta *
beta);
posição = log (soma (rácio de potência [Canais
seleccionados]));

```

Certos modelos de realização da presente invenção utilizam níveis de potência de bandas específicas dentro de um dado conjunto de sinais neurais para gerar um comando de saída. A Figura 8 apresenta um modelo de realização de um processo de alto nível para determinar um comando de saída, tendo em conta níveis de potência de bandas específicas dentro de um dado conjunto de sinais neurais. De acordo com o método da Figura 8, são seleccionadas para processamento bandas específicas dentro de um sinal, e são determinados níveis de potência média para as bandas, passos **802** e **804**. O fluxo de programa prossegue com o cálculo de um rácio de potência para as bandas seleccionadas ao longo dos canais (eléctrodos) sob consideração, passo **806**. O método utiliza os rácios de potência para os canais, a fim de determinar um sinal de comando de saída, passo **808**, cuja lógica de negócio específica para tarefas pode ser utilizada para executar uma tarefa.

A Figura 9 apresenta um diagrama de fluxos que ilustra um método para processamento de sinais por um decodificador fixo a fim de determinar um comando de saída, de acordo com um modelo de realização da presente invenção. De acordo com o modelo de realização da Figura 9, o método pode começar com a selecção de um rácio de potência para um primeiro canal, passo **902**, bem como a selecção de um rácio de potência para um outro canal, passo **904**. O método calcula a soma dos rácios de potência para o primeiro canal e para o outro canal, passo **906**, guardando a soma numa estrutura de memória, como por exemplo estruturas de memória transientes ou persistentes.

O método executa uma verificação para determinar se existem canais adicionais para análise que façam parte do conjunto de canais sob consideração, passo **908**. Se estiverem presentes canais adicionais, o método selecciona um rácio de potência para um subsequente canal, passo **910**. Usando o rácio de potência para o subsequente canal e o valor em memória, o método calcula uma nova soma, passo **912**, a qual é então de novo guardada na memória, passo **914**. O fluxo de programa percorre o ciclo de acordo com os passos **908** a **914**, até que a verificação no passo **908** prove ser falsa, indicando assim que não estão presentes canais adicionais para análise.

Assim que a verificação no passo **908** provar ser falsa, indicando que não existem canais adicionais para análise, o fluxo de programa prossegue com o cálculo do logaritmo decimal da soma em memória, passo **916**, o qual é emitido pelo descodificador fixo como um sinal de comando. De acordo com um modelo de realização da invenção, o método da Figura 9 determina um comando de saída de acordo com a seguinte equação 2:

$$\text{comando} = \log\left(\sum_{chn=1}^n \text{rácio}_{chn(n)}\right)$$

Equação 2

As Figuras 1 a 9 são ilustrações conceptuais que permitem uma explicação da presente invenção. Os especialistas nesta tecnologia irão compreender que diversos aspectos dos modelos de realização da presente invenção podem ser implementados em hardware, firmware, software, ou

combinações dos mesmos. Em tais modelos de realização, os vários componentes e/ou passos serão implementados em hardware, firmware e/ou software para executar as funções da presente invenção. Ou seja, a mesma peça de hardware, firmware, ou módulo de software pode executar um ou mais dos blocos ilustrados (por exemplo, componentes ou passos).

Em implementações de software, está armazenado software de computador (por exemplo, programas ou outras instruções) e/ou dados num meio legível por máquina fazendo parte de um produto de programa de computador, e é carregado para dentro de um sistema de computador, ou outro dispositivo ou máquina, através de um dispositivo de armazenamento removível, disco rígido, ou interface de comunicações. Os programas de computador (também chamados lógicas de controlo de computador, ou código de programa legível por computador) são armazenados numa memória principal e/ou secundária, e executados por um ou mais processadores (controladores, ou semelhantes) para fazer com que os - um ou mais - processadores executem as funções da invenção, tais como foram aqui descritas. Neste documento, as expressões "meio legível por máquina", "meio de programação de computador" e "meio utilizável por computador" são usadas para fazer referência genérica a meios tais como: uma memória de acesso aleatório (RAM); uma memória só de leitura (ROM); uma unidade de memória removível (por exemplo um disco magnético ou óptico, dispositivo de memória flash, ou outros semelhantes); um disco rígido; ou outros semelhantes.

Refira-se que as antecedentes Figuras e exemplos não se destinam a limitar o âmbito da presente invenção a um único modelo de realização, já que são possíveis outros modelos de realização por intermédio de intercâmbio de alguns ou de todos os elementos descritos ou ilustrados. Para além disso, uma vez que certos elementos da presente invenção podem ser parcial ou totalmente implementados usando componentes já conhecidos, apenas estão descritas aquelas partes de tais componentes já conhecidos que são necessárias para uma compreensão da presente invenção, e são omitidas descrições detalhadas de outras partes de tais componentes já conhecidos de modo a não tornar a invenção pouco clara. Na presente especificação, um modelo de realização mostrando um componente singular não deve necessariamente ficar limitado a outros modelos de realização incluindo uma multiplicidade de componentes idênticos, e vice-versa, a menos que neste documento tal seja explicitamente indicado. Por outro lado, os Requerentes não pretendem que seja atribuído a qualquer termo na especificação ou nas reivindicações um significado invulgar ou especial, a menos que seja explicitamente referido como tal. Além disso, a presente invenção abrange componentes que são presentemente conhecidos e o venham a ser no futuro, equivalentes aos componentes já conhecidos que aqui foram referidos a título de ilustração.

A descrição anterior dos modelos de realização específicos irá assim revelar a natureza geral da invenção de forma tão completa, que outras pessoas poderão - por aplicação de conhecimentos dentro das capacidades na(s) relevante(s) tecnologias(s) (incluindo o conteúdo dos documentos citados e aqui incorporados por

referência) - modificar facilmente e/ou adaptar a várias aplicações tais modelos de realização específicos, sem experimentação indevida, não saindo do conceito geral da presente invenção. Pretende-se por conseguinte que tais adaptações e modificações sejam consideradas dentro do significado e gama de itens equivalentes aos modelos de realização divulgados, com base nos ensinamentos e orientações aqui apresentados. Dever-se-á esclarecer que a fraseologia ou terminologia aqui utilizada tem o propósito de descrição e não de limitação, pelo que a terminologia ou fraseologia da presente especificação deve ser interpretada pelo especialista à luz dos ensinamentos e orientações aqui apresentados, em combinação com os conhecimentos de um especialista na(s) relevante(s) tecnologia(s).

Embora tenham sido anteriormente descritos vários modelos de realização da presente invenção, deve ser entendido que eles foram apresentados a título de exemplo, e não como limitação. Será perceptível para um especialista na(s) relevante(s) tecnologia(s) que podem ser feitas várias alterações na forma e detalhes, sem nos afastarmos do espírito e âmbito da invenção. Assim, a presente invenção não deve ficar limitada por qualquer um dos modelos de realização exemplificativos anteriormente descritos, antes devendo ser definida apenas de acordo com as reivindicações seguintes e seus equivalentes.

Lisboa, 20 de Outubro de 2016

## REIVINDICAÇÕES

**1.** Um método para geração de um comando de saída por um processador neural através da utilização de uma interface cérebro-máquina de aprendizagem de operante, caracterizado por compreender:

- selecção de um ou mais eléctrodos a partir de uma multiplicidade de eléctrodos, por intermédio de execução de código de programa no processador neural;
- recepção de sinais neurais no processador neural provenientes de um ou mais eléctrodos seleccionados;
- estabelecimento de limites com base nos sinais neurais recebidos;
- estabelecimento de um temporizador no processador neural para definir uma velocidade de comandos de saída;
- enquanto o temporizador não tiver expirado, execução do código de programa pelo processador neural para recuperar e processar os sinais neurais recebidos; e
- cálculo de um comando de controlo através da utilização de um descodificador fixo no processador neural, o qual recebe os sinais neurais recuperados e processados como entrada.

**2.** O método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por a recepção de sinais neurais pelo processador neural incluir a recepção de sinais neurais provenientes do operante.

**3.** O método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por compreender a disponibilização do comando de controlo, por intermédio da execução de código

de programa no processador neural, como uma entrada para um subsequente componente de hardware ou software.

4. O método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por compreender a realização de uma verificação, por intermédio da execução de código de programa no processador neural, para determinar se uma tarefa em curso está concluída.

5. O método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por compreender o estabelecimento do temporizador, por intermédio da execução de código de programa no processador neural, para definir uma subsequente velocidade de comandos de saída, e recuperação e processamento dos sinais neurais recebidos enquanto o temporizador não tiver expirado.

6. O método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por a selecção de um ou mais eléctrodos a partir de uma multiplicidade de eléctrodos compreender:

- apresentação de uma tarefa ao operante, sob o controlo da execução de código de programa no processador neural;
- aquisição de actividade neural do operante, durante a apresentação da tarefa pelo processador neural;
- aplicação de critérios de selecção pelo processador neural, relativamente à actividade neural adquirida; e
- selecção, pelo processador neural, de um ou mais eléctrodos que ultrapassem os critérios de selecção.

7. O método de acordo com a reivindicação 6, caracterizado por a aquisição de actividade neural compreender a iniciação de um temporizador de selecção de

eléctrodos, por intermédio da execução de código de programa no processador neural, a fim de definir uma janela temporal sobre a qual o processador neural deverá adquirir actividade neural.

**8.** O método de acordo com a reivindicação 6, caracterizado por a selecção pelo processador neural compreender a selecção de um subconjunto de eléctrodos, pelo processador neural, que ultrapassem os critérios de selecção.

**9.** O método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por o processamento dos sinais neurais recebidos compreender:

- atenuação do ruído de sinal em um ou mais canais contidos dentro dos sinais neurais recebidos;
- cálculo de uma densidade espectral para os - um ou mais - canais atenuados;
- determinação da potência média em uma ou mais bandas seleccionadas para os - um ou mais - canais; e
- determinação dos rácios de potência para os, um ou mais, canais.

**10.** O método de acordo com a reivindicação 9, caracterizado por a determinação dos rácios de potência para um dado canal, a partir dos, um ou mais, canais, ser feita por intermédio da execução de código de programa no processador neural, de acordo com o cálculo do rácio  $\frac{\gamma \cdot \theta}{\beta \cdot \delta}$ , em que  $\beta$  consiste numa banda na gama 14-24Hz,  $\gamma$  consiste numa banda na gama 30-80Hz,  $\delta$  consiste numa banda na gama 1-4Hz e  $\theta$  consiste numa banda na gama 4-8Hz.

**11.** O método de acordo com a reivindicação 9, caracterizado por o cálculo do comando de controlo incluir a acção em que o processador neural é instruído pelo código de programa a fim de calcular  $\log(\sum_{chn=1}^n \text{rácio}_{chn(n)})$ , que consiste na soma de rácios correspondentes a canais 1 a n, em que um rácio  $= \frac{\gamma \cdot \theta}{\beta \cdot \delta}$  e em que  $\beta$  consiste numa banda na gama 14-24Hz,  $\gamma$  consiste numa banda na gama 30-80Hz,  $\delta$  consiste numa banda na gama 1-4Hz e  $\theta$  consiste numa banda na gama 4-8Hz.

**12.** Meios não-transitórios legíveis por computador compreendendo código de programa que, quando executado por um processador programável, promove a execução de um método para geração de um comando de saída por um processador neural, através da utilização de uma interface cérebro-máquina de aprendizagem de operante, caracterizados por o código de programa incluir:

- código de programa para seleccionar um ou mais eléctrodos a partir de uma multiplicidade de eléctrodos, por intermédio de execução de código de programa no processador neural;
- código de programa para receber sinais neurais no processador neural, partir de um ou mais eléctrodos seleccionados;
- código de programa para estabelecer limites com base nos sinais neurais recebidos;
- código de programa para estabelecer um temporizador no processador neural, a fim definir uma velocidade de comandos de saída;

- código de programa para recuperar e processar os sinais neurais recebidos pelo processador neural, enquanto o temporizador não tiver expirado; e
- código de programa para calcular um comando de controlo, através da utilização de um descodificador fixo no processador neural que recebe os sinais neurais recuperados e processados como entrada.

**13.** Os meios legíveis por computador de acordo com a reivindicação 12, caracterizados por compreender um código de programa para proporcionar o comando de controlo como uma entrada para um subsequente componente de hardware ou software.

**14.** Os meios legíveis por computador de acordo com a reivindicação 12, caracterizados por compreender um código de programa para execução de uma verificação no processador neural, a fim de determinar se uma tarefa em curso está concluída.

**15.** Os meios legíveis por computador de acordo com a reivindicação 12, caracterizados por compreender um código de programa para estabelecer o temporizador a fim de definir uma subsequente velocidade de comandos de saída, e código de programa para recuperar e processar os sinais neurais recebidos enquanto o temporizador não tiver expirado.

**16.** Os meios legíveis por computador de acordo com a reivindicação 12, caracterizados por a selecção de um ou mais eléctrodos a partir de uma multiplicidade de eléctrodos compreender:

- código de programa para apresentar uma tarefa ao operante;
- código de programa para adquirir actividade neural do operante, durante a apresentação da tarefa pelo processador neural;
- código de programa para aplicar critérios de selecção, por parte do processador neural, à actividade neural adquirida; e
- código de programa para seleccionar, pelo processador neural, um ou mais eléctrodos que ultrapassam os critérios de selecção.

**17.** Os meios legíveis por computador de acordo com a reivindicação 16, caracterizados por o código de programa para aquisição de actividade neural incluir um código de programa para iniciar um temporizador de selecção de eléctrodos, a fim de definir uma janela sobre a qual o processador neural deverá adquirir actividade neural.

**18.** Os meios legíveis por computador de acordo com a reivindicação 16, caracterizados por o código de programa para selecção de um ou mais eléctrodos incluir um código de programa para seleccionar um subconjunto de eléctrodos, pelo processador neural, que ultrapassem os critérios de selecção.

**19.** Os meios legíveis por computador de acordo com a reivindicação 12, caracterizados por o código de programa para processar os sinais neurais recebidos incluir:

- código de programa para atenuação do ruído de sinal em um ou mais canais contidos dentro dos sinais neurais recebidos;

- código de programa para cálculo de uma densidade espectral para os - um ou mais - canais atenuados;
- código de programa para determinação da potência média em uma ou mais bandas seleccionadas para os - um ou mais - canais; e
- código de programa para determinação dos rácios de potência para os - um ou mais - canais.

**20.** Os meios legíveis por computador de acordo com a reivindicação 19, em que o código de programa para o cálculo do comando de controlo inclui código de programa para calcular  $\log(\sum_{chn=1}^n \text{rácio}_{chn(n)})$ , que consiste na soma de rácios correspondentes a canais 1 a n, em que um rácio =  $\frac{\gamma \cdot \theta}{\beta \cdot \delta}$  e em que  $\beta$  consiste numa banda na gama 14-24Hz,  $\gamma$  consiste numa banda na gama 30-80Hz,  $\delta$  consiste numa banda na gama 1-4Hz e  $\theta$  consiste numa banda na gama 4-8Hz.

Lisboa, 28 de Maio de 2021

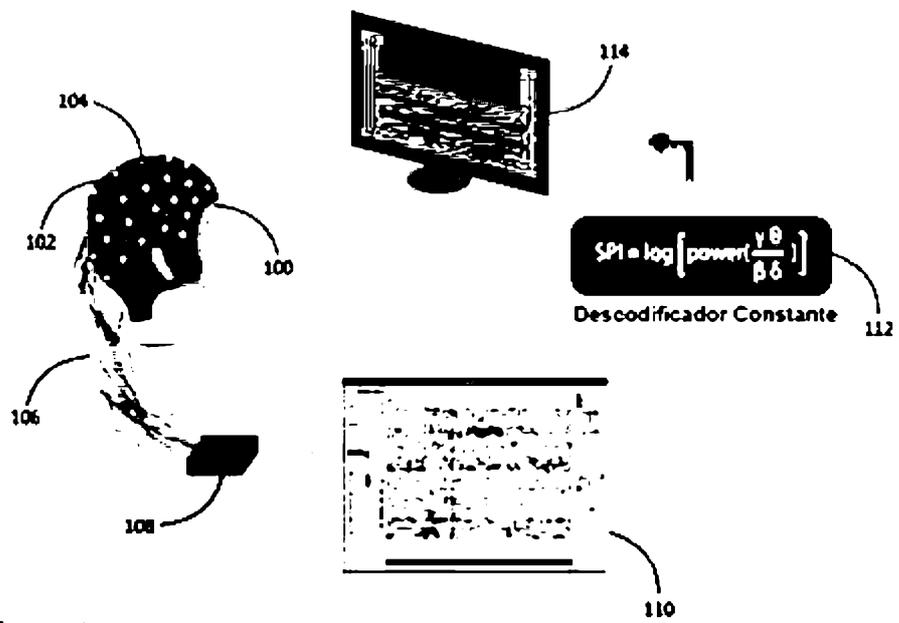


Fig. 1A

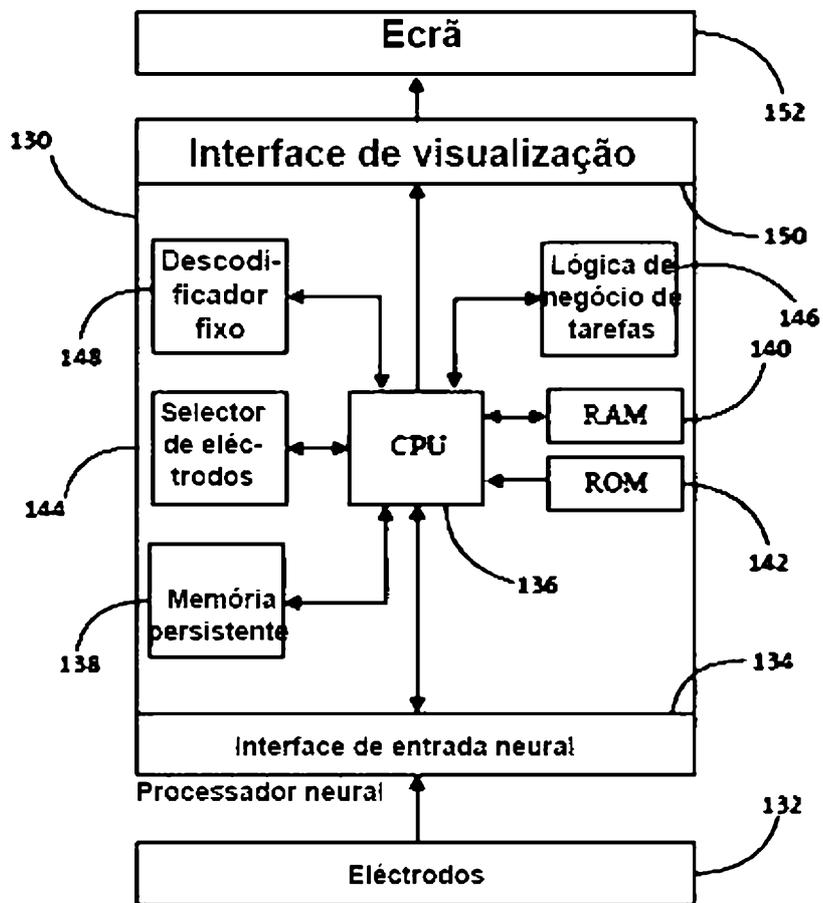


Fig. 1B

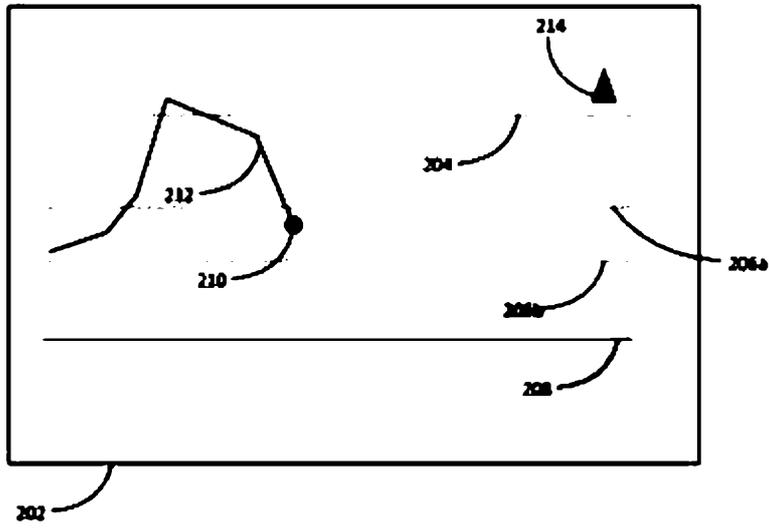


Fig. 2

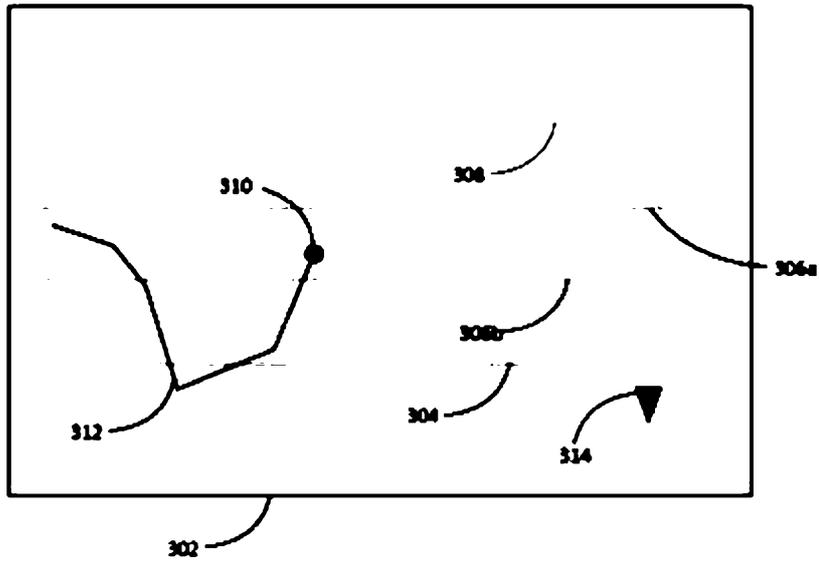


Fig. 3

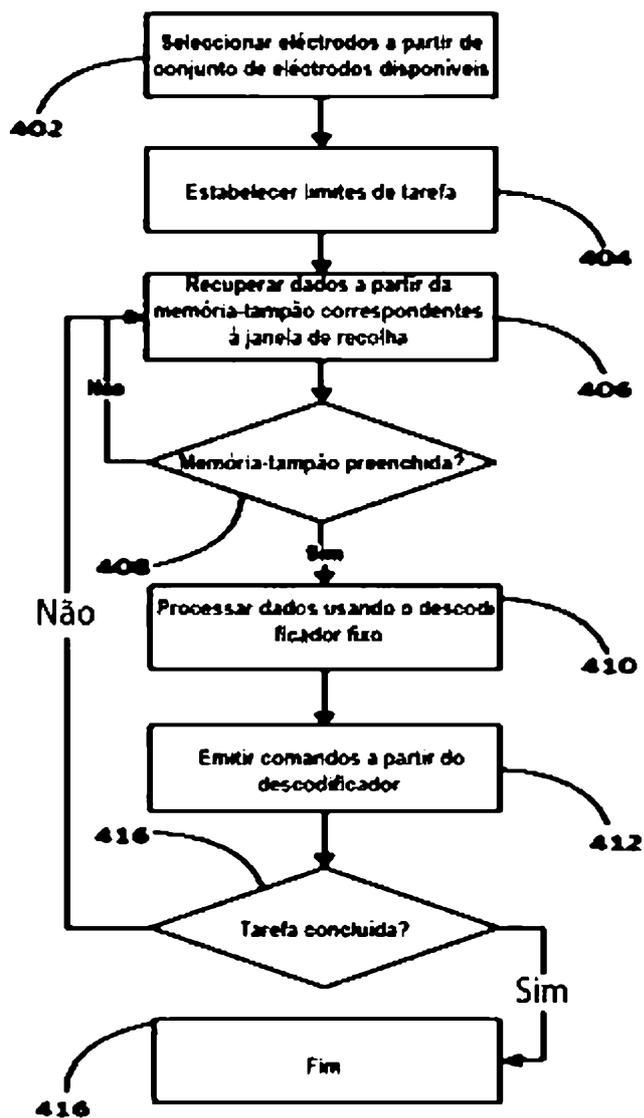
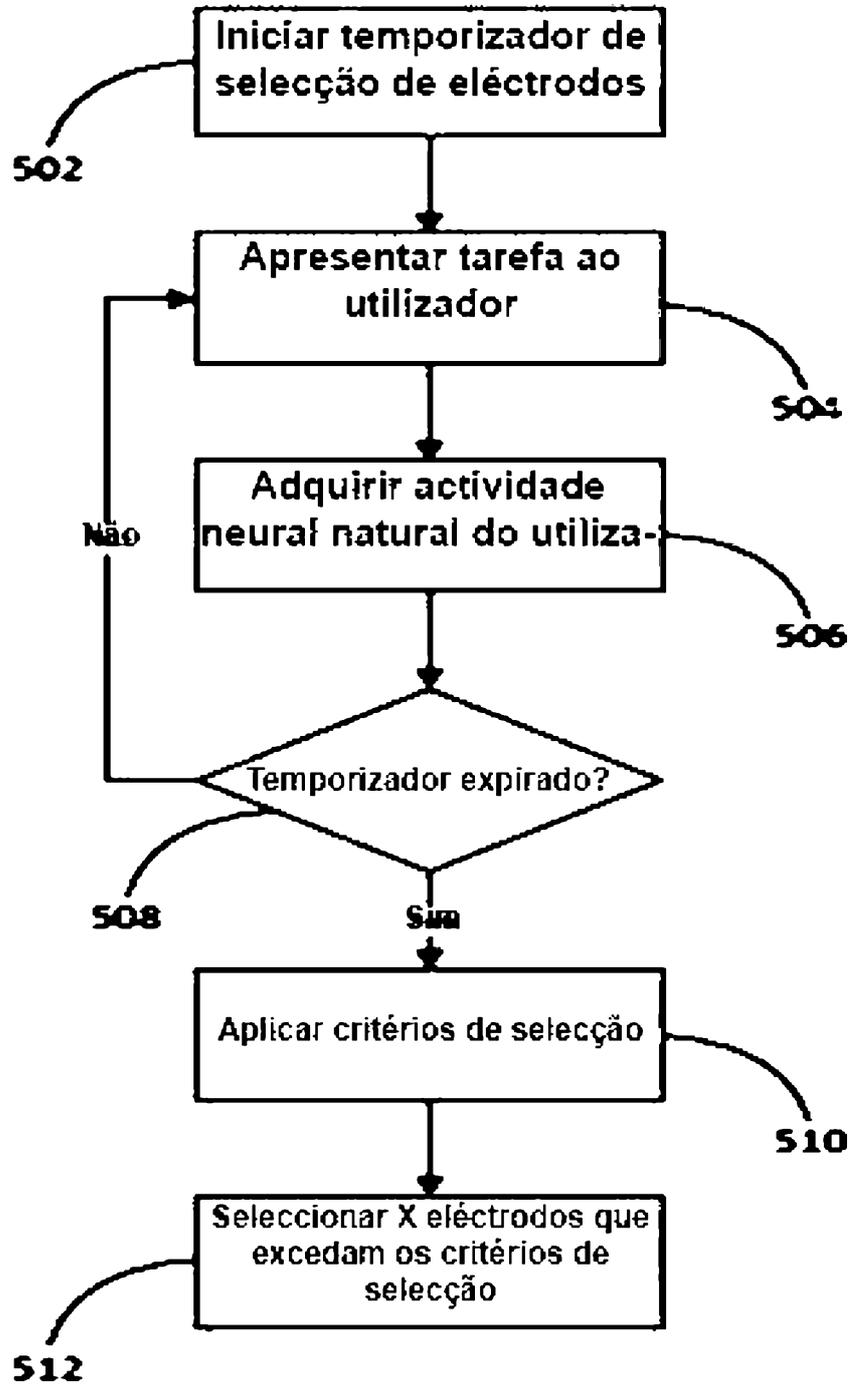


Fig. 4

**Fig. 5A**

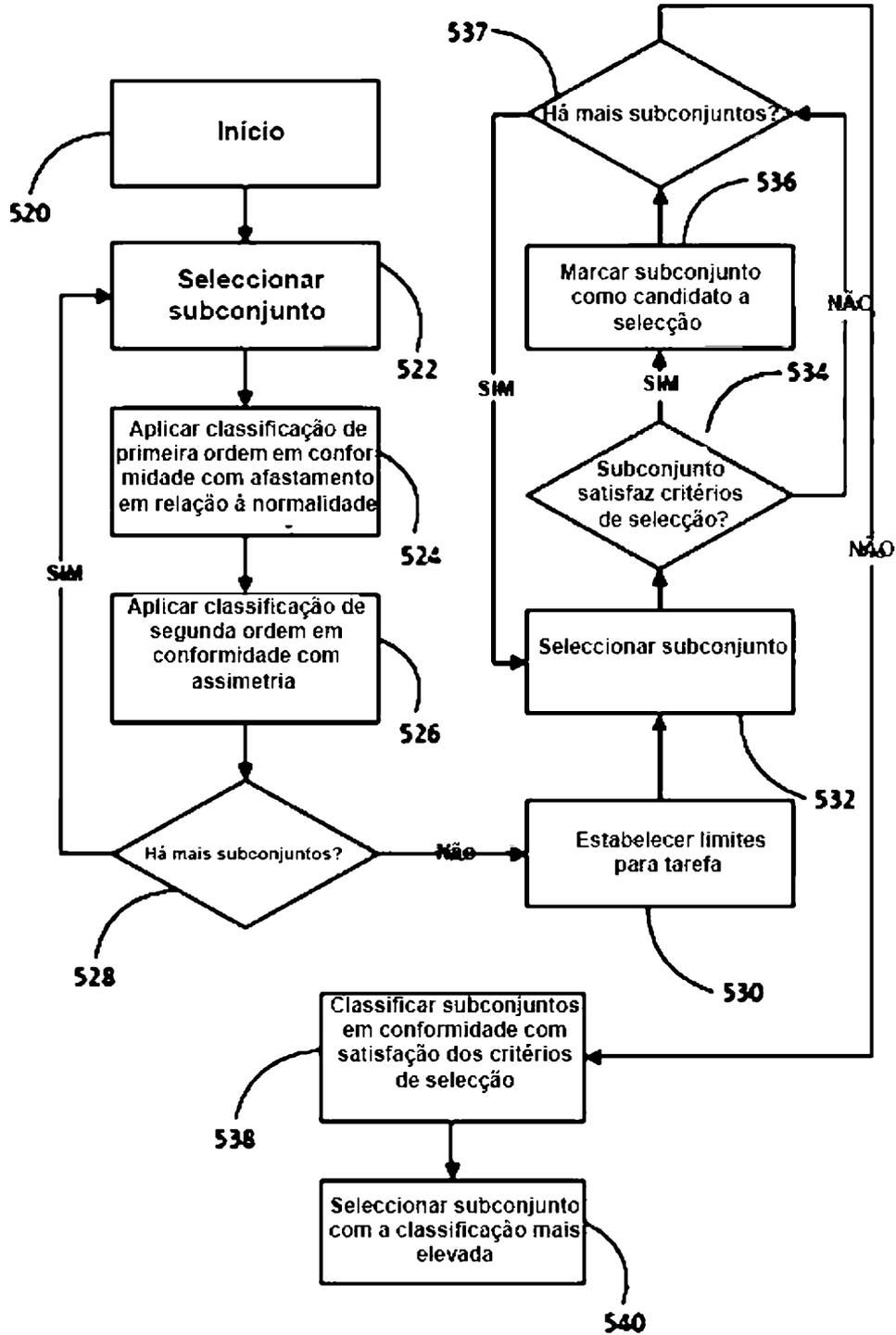


Fig. 5B

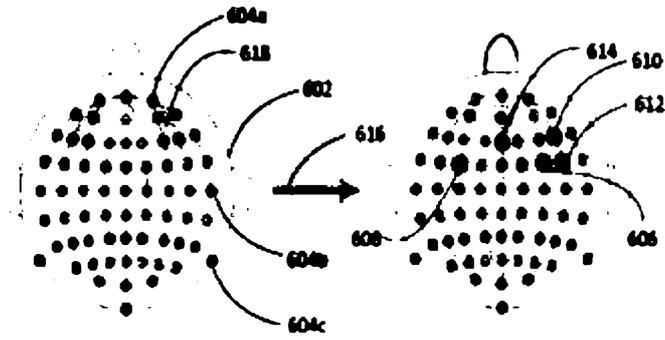


Fig. 6

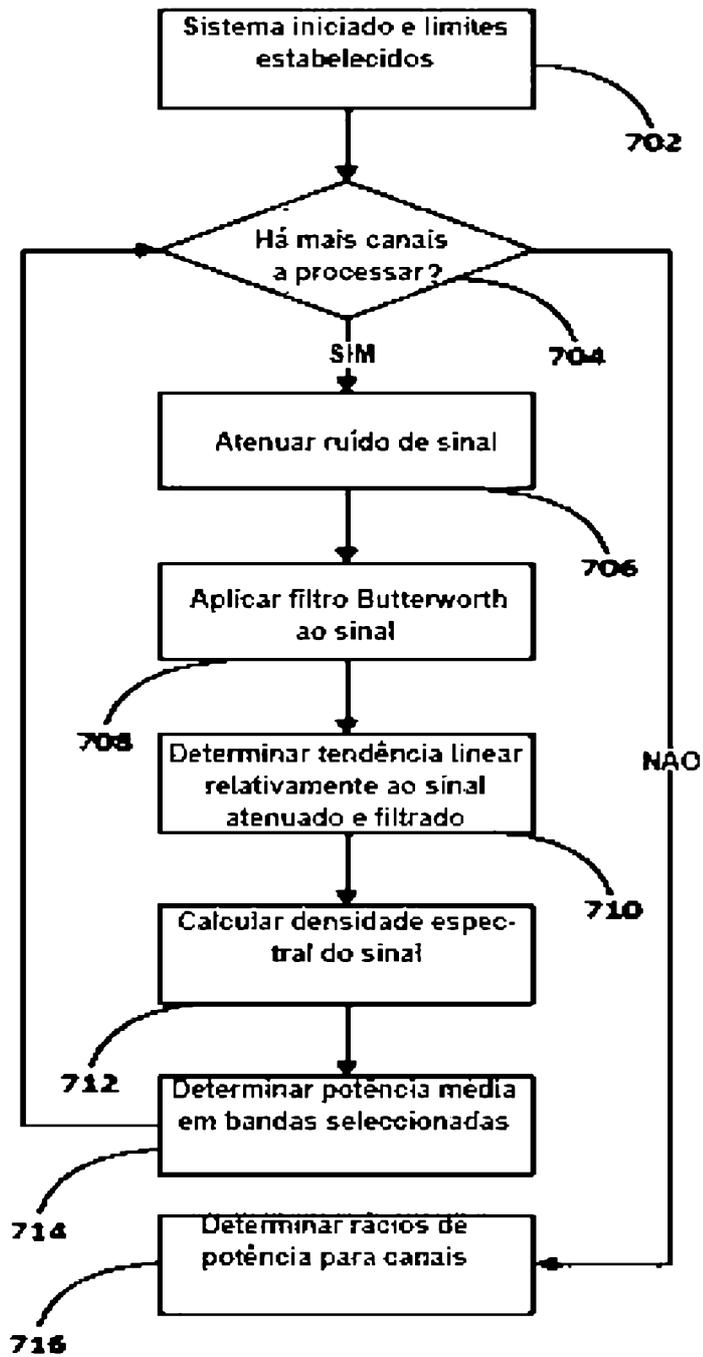


Fig. 7

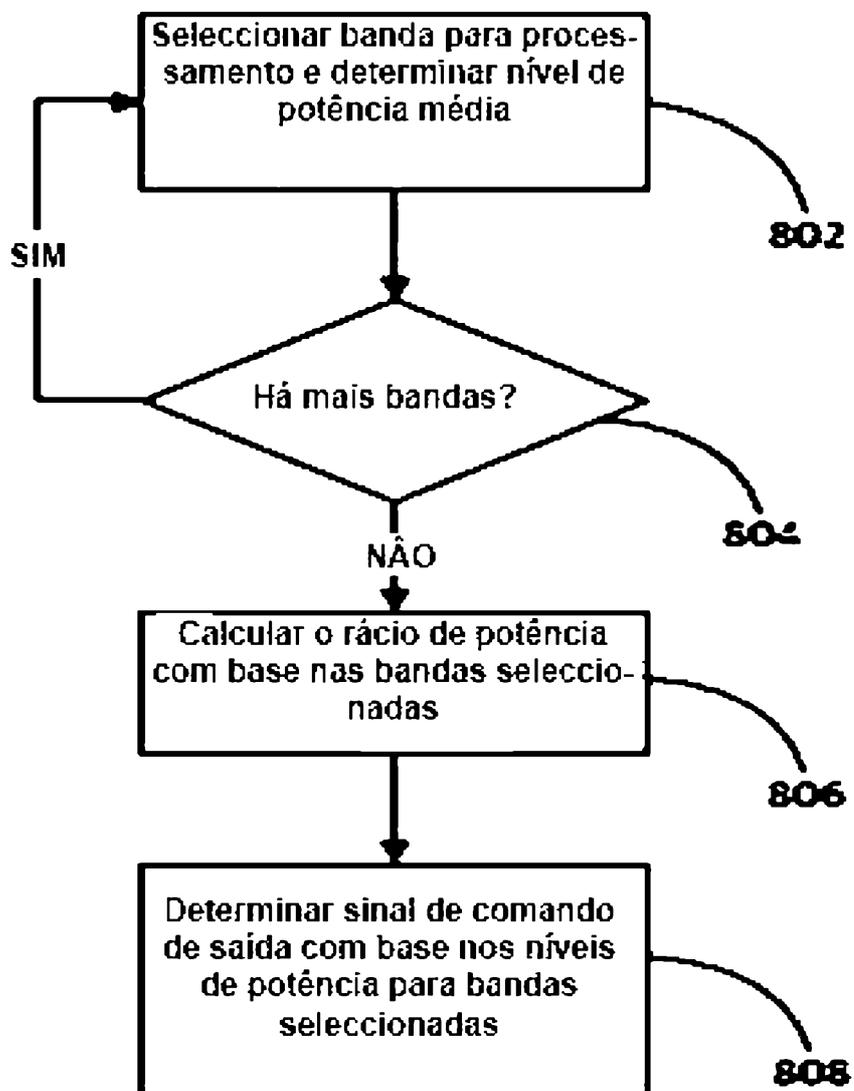


Fig. 8

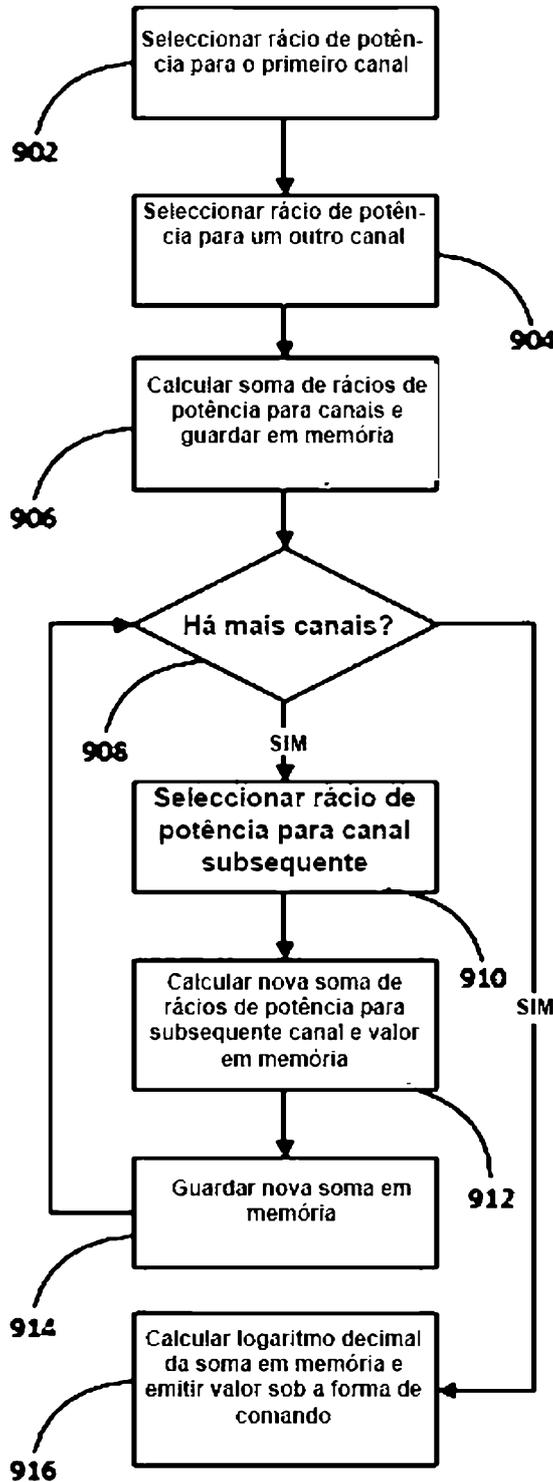


Fig. 9