

## Miguel Nicolelis, neurocientista, expõe sua concepção sobre o funcionamento do cérebro

Entrevista a Mônica Teixeira

A seção “Observando a Medicina” publica, nesta edição, a entrevista concedida pelo neurocientista Miguel Nicolelis à jornalista Mônica Teixeira. Miguel tem 43 anos; há dez é professor na Duke University, universidade norte-americana sediada em Durham, Carolina do Norte. Formado (em 1984) e doutorado (em 1989) na Faculdade de Medicina da USP, Nicolelis caminha para a celebridade científica: nos meses de outubro e novembro, foi escolhido membro da Associação Americana para o Avanço da Ciência (mais cedo em 2004, teve seu nome rejeitado pelos pares brasileiros para integrar a Academia Brasileira de Ciências); tornou-se titular da Cátedra Ramon y Cajal, da Universidade Nacional Autônoma do México; ganhou um prêmio da Fundação Wellberg, da Suécia, e fez parte da lista dos cinquenta mais influentes homens de ciência de 2004 elaborada pela revista de divulgação científica *Scientific American*.

Miguel também ganhou o maior *grant* de pesquisa em neurociência dos Estados Unidos – o Ministério da Defesa concedeu financiamento de US\$ 26 milhões em cinco anos para que pesquise formas de ligar o cérebro de pessoas que não podem se mover, a próteses artificiais, sem que os sinais nervosos passem pela geralmente lesada medula espinhal. Se bem-sucedida, a linha de pesquisas de Nicolelis interessa de maneira especial à forte associação de veteranos de guerra do país. Com macacos, Miguel já demonstrou com clareza a possibilidade de o pensamento sobre um movimento poder mover um braço mecânico. Na busca de resolver esse problema prático – o que faz com colaboradores, entre eles

neurocirurgiões, engenheiros de *software*, especialistas em robótica –, Miguel partiu de uma concepção sobre o funcionamento do cérebro diversa da mais aceita. Como se pode ler na entrevista, o cientista supõe que a unidade do funcionamento cerebral não é o neurônio, mas circuitos de neurônios, distribuídos por várias estruturas do cérebro, que se conectam para realizar a tarefa desejada.

Nicolelis usa eletrodos para captar padrões de sinais elétricos de conjuntos de neurônios – *ensembles*, como os batizou Daniel Hebb, em 1949, tendo sido ignorado – e, depois de tratá-los segundo modelos matemáticos, faz com que movam um robô. O dispositivo experimental que utilizou em macacos já está sendo testado em voluntários humanos.

No Brasil, Miguel tem também alcançado popularidade. Está empenhado em usar seu prestígio internacional para montar o Instituto de Neurociências de Natal, em que pretende unir a pesquisa de laboratório ao estudo clínico das crianças que freqüentarem a escola (de alta qualidade, deseja ele) a ser montada ao lado do Instituto. O cientista concedeu a entrevista em março, na época em que um seminário internacional marcou o lançamento do instituto no Rio Grande do Norte. Uma conversa de atualização aconteceu em novembro. A entrevista:

**Mônica Teixeira:** *O que é um circuito cerebral?*

**Miguel Nicolelis:** Tudo o que nós fazemos: ação, comportamento, toda atividade humana depende da atuação de um circuito cerebral. Circuito cerebral são grupos de células, localizadas em diferentes regiões do cérebro, interconectadas. É assim em qualquer atividade: escrevendo, pensando, lembrando. Todas dependem de um circuito cerebral, não de uma única célula: essa é uma mudança filosófica que está gerando um grande *paradigm-shift*.

**M. T.:** *Que mudança de paradigma?*

**M. N.:** Torsten Wiesel e David Hubel, que ganharam o Prêmio Nobel em 1981, criaram e demonstraram a doutrina da “única célula”. A grande contribuição deles foi mostrar que células individuais produzem sinais elétricos proporcionais a diferentes estímulos visuais, a diferentes atividades do sistema visual. Criou-se o termo *grandmother cell*, a célula da avó, dizendo que uma única célula carrega a informação necessária para uma pessoa reconhecer a face da avó. O que fizemos, e outros grupos logo a seguir, foi demonstrar que a contribuição de uma única célula para a definição de um dado comportamento é muito pequena. Para alguém mexer a mão, falar, lembrar é necessária a ativação global de milhões de células – os circuitos cerebrais. Quando se considera o circuito cerebral, a contribuição de uma célula é muito pequena – é estatística, inclusive. Essa idéia está causando uma mudança muito grande da maneira de se pensar como o

cérebro funciona. Essa questão é a mais básica, mais abstrata, mas talvez a mais importante das contribuições que fizemos. Criamos um conceito 180 graus oposto à visão clássica; e nos perguntamos: como podemos demonstrar categoricamente o nosso ponto de vista? Surgiu assim a idéia de interfacear. Não pensávamos que seria tão rápido. Pensávamos que iríamos levar vinte anos para conseguir interfacear um tecido vivo com um robô; para então mostrar que, quando se usa o circuito (cerebral) como um todo, o animal consegue reproduzir no robô a ação que quer fazer.

**M. T.:** *No laboratório, você usa o circuito cerebral de macacos para alimentar um sistema artificial?*

**M. N.:** Exatamente. Na realidade, não podemos usar o circuito todo porque são milhões de células – ninguém nunca conseguiu registrar milhões de células. Nós mostramos que não é possível uma única célula controlar um braço mecânico – o que contradiz a teoria vigente. Não funciona, não há como.

**M. T.:** *Por quê?*

**M. N.:** A célula tem um ruído inerente, é um ente estatístico. Num momento, ela vai disparar em correlação com o movimento; mas num outro momento, ela não dispara – fica quieta, não produz nenhum sinal elétrico. Por que o cérebro funciona? Porque existem milhões de outras células disparando no momento em que aquela celuzinha está quieta. Cada vez que faço isso aqui [mostra um movimento repetitivo com a mão] ou repito a mesma frase – meu nome, por exemplo – não são as mesmas células que estão sendo recrutadas, e sim outras células, participantes desse circuito, mas não necessariamente as mesmas. Isso garante que, a cada momento no tempo, eu possa reproduzir exatamente o movimento que quero. É uma questão estatística. Imagine um estádio de futebol, em que você tem cinquenta mil palmeirenses. Você pede que eles cantem o hino do Palmeiras, mas a cada momento no tempo, diferentes dez mil não conseguem cantar – por qualquer razão. Por que o hino continua sendo ouvido continuamente? Porque a cada momento no tempo diferentes combinações de pessoas daquele estádio estão cantando. O circuito está continuamente ativo para garantir que consigamos fazer tudo o que precisamos no momento exato.

**M. T.:** *Essa concepção do circuito cerebral é sua?*

**M. N.:** Sim. A especificação de todas essas proposições, fomos nós que publicamos. Existe um livro clássico dos anos 1940 chamado *Organização do Comportamento*, de Donald Hebb. Ele propôs visões de como os circuitos deveriam operar. Só que ele foi muito geral, muito amplo, porque não tinha como medir a atividade de circuitos. Isso foi em 1949, não havia método para isso.

M. T.: *E de quando é a teoria clássica, da única célula?*

M. N.: As descobertas começaram no final da década de 1950. Os pesquisadores se concentraram no sistema visual. No meio da década de 1980, notou-se que certos resultados não podiam ser explicados. A teoria foi muito importante, mas era limitada pela técnica disponível, através da qual só se podia registrar uma célula de cada vez – como se só se pudesse olhar uma estrela de cada vez com o telescópio. Se você não pode ver uma galáxia, é impossível definir certas leis de funcionamento de milhões de estrelas. É a mesma situação. Outra comparação que gosto de fazer é com uma ópera. Quem ouve só a soprano cantar perde a história, porque a soprano não canta o tempo inteiro, não se ouvirá a resposta do tenor, do barítono, do coral. A comparação com música é muito apropriada: Daniel Hebb usou o termo *ensemble*, grupo musical, que estamos expandindo. O Hebb dizia: você não tem que olhar num único instrumentista, você tem que olhar como o *ensemble* toca. Mas até o final da década de 1980 – quando cheguei aos Estados Unidos –, não havia uma técnica estabelecida para se fazer isso. Meu orientador e eu, na Filadélfia, e um outro grupo no Arizona, ao mesmo tempo, começamos a desenvolver essas técnicas. Foi quase uma mini corrida. Em 1993, publicamos na *Nature* e no PNAS (*Proceedings of National Academy of Sciences of United States of America*) o primeiro trabalho mostrando quarenta células registradas simultaneamente. Em seguida, publicamos na *Science* a amostragem de um circuito inteiro sendo registrado num rato desperto, usando as vibrações para tocar os objetos. Os ratos usam as vibrações como se fossem dedos. Aí percebi que estávamos criando uma nova área de pesquisa: a fisiologia de populações neurais; e mudei para a Duke University, dez anos atrás. Cheguei à conclusão de que não só a técnica deveria ser expandida de maneira exponencial, mas que também era necessário definir as leis de operação de um circuito, que não existiam na época e ainda não existem. Nos últimos dez anos, tenho me dedicado a formular uma teoria abrangente para o funcionamento dos circuitos cerebrais. Publiquei várias partes dela, aos pedaços. Agora estou escrevendo um livro e uma série de artigos que vão cristalizar a teoria.

M. T.: *Como é sua teoria?*

M. N.: Basicamente, descreve princípios fisiológicos de como os circuitos operam. A grande revolução da neurociência se deu com o aparecimento da teoria celular do cérebro, criada por Santiago Ramon y Carral. Estou tendo a petulância – Cajal é um meu ídolo –, de dizer que a unidade funcional do cérebro é não o neurônio, como quer a teoria celular, mas o grupo mínimo de células neuronais que sustenta um comportamento, e que estão distribuídas em várias estruturas interconectadas. As células do cérebro, diferentemente das que formam o fígado, ou os rins, têm

conectividade. Por isso penso que a unidade é um grupo de células. Esse é o primeiro princípio.

**M. T.:** *O senhor têm trabalhado com macacos. Os resultados se reproduzem em seres humanos?*

**M. N.:** Trabalho com um neurocirurgião que lida com pacientes parkinsonianos terminais, pessoas em quem a doença de Parkinson não responde a mais nada. Nesse momento, eles têm a opção de fazer uma cirurgia para instalar um estimulador na região defeituosa. Em 70% dos pacientes, a resposta é extremamente positiva – eles voltam a se mexer, principalmente conseguem voltar a contrair as mãos. Havia 11 pacientes que iam se submeter a esse tipo de cirurgia; desenvolvemos um eletrodo em conjunto com esse neurocirurgião, que tinha o objetivo de facilitar o posicionamento do estimulador no cérebro do paciente. Nisso, tivemos cinco minutos durante o procedimento cirúrgico para fazer os pacientes jogarem uma versão simplificada do mesmo joguinho que os macacos jogavam e testar se todos os modelos matemáticos e a idéia desenvolvida para os macacos funcionavam no ser humano. Vimos que funcionou. É a primeira demonstração de toda essa loucura de 15 anos, que começamos no rato, no camundongo, finalmente chegou ao ser humano.

148

**M. T.:** *O senhor já publicou esses resultados?*

**M. N.:** Sim, em julho de 2004. Por cinco minutos, tivemos uma janela para o cérebro. Pudemos observar a atividade cerebral dessas pessoas enquanto jogavam o videogame. O eletrodo implantado no cérebro delas captou os impulsos elétricos, isto é, o pensamento.

**M. T.:** *Como, na sua concepção, se forma um pensamento? De onde eles vêm?*

**M. N.:** Não tenho a mínima idéia. Você vai me perguntar sobre livre-arbítrio?

**M. T.:** *Não, sobre o inconsciente. Um aluno seu, Sidarta Ribeiro, publicou um artigo em que afirma, a respeito de certas descobertas dele e suas, que essas descobertas, tomadas “em conjunto, indicam a necessidade de reavaliar cientificamente o legado psicanalítico”.*

**M. N.:** Discordo radicalmente de Sidarta nesse ponto. A interpretação dos sonhos é uma baboseira.

**M. T.:** *Mas, na sua concepção do funcionamento do cérebro, há lugar para o inconsciente?*

**M. N.:** Poderiam ser varreduras de atividade elétrica que percorrem o cérebro

sem que se materializem em comportamento, ou grandes interações neuronais planejando o futuro. Não sei o que os sonhos são. Nossas evidências mostram que têm um papel na formação da memória, mas eu não acreditava nisso quando o Sidarta começou a pesquisa.

**M. T.:** *Como repercutem os resultados que o senhor tem obtido?*

**M. N.:** Em outubro de 2003, quando publicamos um artigo importante, fui convidado a participar do programa do Charles Rose (apresentador norte-americano, âncora de *talk-show*). Ele me perguntou: qual o senso de história que você tem nesse caso? Respondi que sinto estarmos fazendo história. Não descobrimos a resposta final – não existe a verdade absoluta em ciência. Mas estamos criando uma mudança de paradigma que mostra o cérebro de uma forma inédita. As implicações disso não serão apenas clínicas, embora essas sejam fundamentais: há 11 mil pessoas por ano que perdem movimentos. Se você fizer essas pessoas andarem novamente... Minha mãe diz, brincando, que meu único competidor é Jesus Cristo! Mas não é essa a mudança fundamental. O essencial é entender como o cérebro funciona de uma maneira profunda, é entender a nossa humanidade, o que faz sermos o que somos. Do jeito que estávamos indo, não chegaríamos lá. Essa mudança metodológica e conceitual nos coloca no caminho certo, na estrada por onde temos chance de um dia chegar lá. Pela primeira vez, há uma maneira de registrar o que se passa no cérebro enquanto ele opera naturalmente. As implicações disso são tremendas. No experimento realizado por meu aluno Sidarta Ribeiro, mostramos que, quando se apresenta a um rato acordado um objeto novo, e ele passa as vibríças pelo objeto, e então vai dormir, o padrão que esse objeto produziu no cérebro do rato reverbera em todo o cérebro quando ele está dormindo.

**M. T.:** *São restos diurnos.*

**M. N.:** Exato, e isso reverbera em vários circuitos. Antes, outros pesquisadores haviam demonstrado que o padrão reverbera por alguns minutos. Nós decidimos registrar o cérebro dos ratos por 120 horas contínuas. O padrão continua reverberando, o rato sonha, acorda, vai dormir de novo e o padrão aparece de novo, outros padrões também aparecem, e ficam colidindo uns com os outros. Por isso que os nossos sonhos são tão estranhos, eles não são uma réplica da realidade...

**M. T.:** *É, não são.*

**M. N.:** ... são uma mistura de tudo que a gente viu, tudo aquilo que está estocado há anos.

Nós somos o nosso cérebro, a nossa história é a nossa capacidade de escrever a história, de comunicar a nossa história, planejar o nosso futuro, educar os nossos filhos – a nossa história como espécie é definida pelo que está aqui dentro [aponta o crânio]. Por isso eu digo: se você entender as leis fundamentais de como isso opera, você muda o sistema educacional, a maneira de criar os seus filhos, educá-los, a explicação do porquê da nossa história – quer dizer, vai mudar o mundo. Em 2000, quando saiu nosso primeiro trabalho, a revista de tecnologia do MIT (*Technology Review*) fez uma enquete com especialistas. Perguntou: quais são as dez tecnologias que vão mudar o mundo? A nossa metodologia para interface máquina cérebro foi eleita a número um. Aparecia genômica, computadores paralelos ópticos, microeletrônica, nanotecnologia – e essa foi a número um.

M. T.: *O que é essa metodologia?*

M. N.: Consiste em usar *arrays*, matrizes, de filamentos tão finos como o cabelo da gente, um pouco mais fino que o cabelo, inseridos cirurgicamente em diferentes regiões do cérebro. Esses filamentos são colocados no espaço extracelular, entre células. Posiciono o filamento cercado de células. Elas produzem correntes.

M. T.: *Como o senhor escolhe onde fincar os eletrodos?*

M. N.: Fazemos uma ressonância magnética para localizar as estruturas envolvidas, e obter as coordenadas delas. Através de uma neurocirurgia que dura vinte horas, implantamos centenas de eletrodos nas diferentes regiões. Num dos animais, implantamos setecentos eletrodos em seis diferentes regiões do cérebro. Aí o animal se recupera como em qualquer neurocirurgia...

M. T.: *Os eletrodos são com fio ou sem fio?*

M. N.: Temos agora uma interface *wireless*, é como se você tivesse noventa telefones celulares, transmitindo por ondas de rádio os sinais que vêm do cérebro. Mas nos experimentos que fizemos em 2003, os eletrodos ainda estavam ligados com cabos. O macaco, uma hora por dia, vem jogar videogames. Nessa hora, a gente conecta esses eletrodos com equipamentos, desenvolvidos por nós, que amostram esses sinais elétricos.

M. T.: *Amostram porque é por amostragem?*

M. N.: Vamos dizer que você está registrando cem células. Todos os sinais elétricos daquelas cem células vão ser registrados. Mas elas são cem em cem milhões de células, por isso falamos que é uma amostragem do circuito. Daí

esses sinais são filtrados, depois amplificados – por serem microscópicos, da ordem de microvolts ou microampères. Depois são amostrados, condicionados e vão para o modelo matemático, que tenta combiná-los para extrair deles os comandos motores que fazem o braço do macaco mexer. O modelo tira o essencial e manda a informação para um braço-robô.

**M. T.:** *O modelo tira o essencial porque ele escolhe um padrão ali?*

**M. N.:** Ele escolhe certos parâmetros. Nós fomos os primeiros a produzir uma previsão de padrões de compressão muscular, para vários músculos do braço. Aí nós também produzimos previsões em tempo real de velocidade, posição no espaço e força, nunca ninguém tinha feito isso.

**M. T.:** *Através desse modelo matemático?*

**M. N.:** São sete modelos correndo em paralelo. Esses modelos vêm mostrando que as mesmas células são capazes de participar de múltiplas computações simultaneamente. Isso é fundamental, é um dos princípios do funcionamento do circuito cerebral.

**M. T.:** *As células estão envolvidas em vários circuitos?*

**M. N.:** Vários circuitos ao mesmo tempo. Elas “ligam” e “desligam”, entram e saem do circuito, é muito dinâmico.

**M. T.:** *Mas, no cérebro, é tudo mais complexo, não é?*

**M. N.:** Extremamente multiplexo, como dizemos. Mas o modelo vai para o robô, e o robô começou a se mexer. Houve o que a gente chama de *machine learning* – durante uma hora, o programa aprende a produzir o melhor possível daquele movimento. No final dessa hora, a gente faz um truque com o robô – perdão, com o macaco: a gente desliga o *joystick* em que ele estava mexendo para controlar o cursor. O macaco está jogando um videogame, ele mexe o *joystick* e vê o cursor na tela se mexendo. Para ganhar suco, o macaco tem que mexer o cursor na tela do monitor usando o *joystick* para encontrar e agarrar um alvo. Ele mexe o *joystick* para o cursor achar o alvo; e aperta o *joystick* para segurá-lo. Daí o animal fica muito bom no jogo, vai atrás do alvo, aperta e tal. Nós então desligamos a conexão do *joystick* com o cursor. Agora, são os movimentos do robô que têm que controlar o cursor. Daí o que aconteceu? O macaco no começo fica confuso, ele tenta mexer o *joystick* e não acontece nada. Para ajudá-lo, tiramos o *joystick*. Ele começa a ver que se ele se concentra e pensa de uma maneira que o modelo matemático consiga entender, o cursor começa a se mexer. Em alguns minutos, o animal começa a acertar de novo.

M. T.: *Então não é um pensamento qualquer, é um pensamento adequado ao padrão capturado pelos computadores.*

M. N.: Isso. É um pensamento relacionado ao movimento da mão, limitado pelo modelo matemático, ele tem que pensar de acordo.

M. T.: *O macaco amestra o pensamento para mover o cursor através do braço mecânico.*

M. N.: Exatamente, é um aprendizado de pensar de acordo com os limites. Ele consegue! Não só isso, as células do cérebro dele se modificam dinamicamente. A sugestão que fizemos no trabalho é de que as células incorporam o robô, como se o braço mecânico fosse parte do *self*, fosse parte do corpo dele, do macaco.

M. T.: *Ele investe a prótese como se fosse o corpo.*

M. N.: Exato. Foi emocionante ver a hora em que o macaco percebe que não adianta ficar se mexendo. Ele pára, e o cérebro dele comanda um braço mecânico que está num outro lugar – num experimento que fizemos em 2000, o robô estava em Boston. Esse foi o momento de fazer o gol na Copa do Mundo, todo moleque sonha em crescer e fazer o gol do Brasil no último segundo, contra a Argentina se possível, e ganhar a Copa do Mundo. Aquele foi o gol da Copa do Mundo, quando o macaco olhou para nós, parou de se mexer, e a gente olhou no computador e o cursor estava lá jogando o videogame, aquilo foi gol. Nós continuamos a seguir esses macacos, e o cérebro vai se adaptando continuamente. Nós evoluímos como espécie para ter capacidade de abstrair, de criar ferramentas, e entender que tipo de ferramenta pode ampliar nossa capacidade; mas aparentemente o nosso cérebro evoluiu também para incorporar essas ferramentas como se fossem extensões de nós mesmos. Talvez seja a explicação porque nós nos transformamos numa espécie tão proficiente em utilizar máquinas para fazer serviços por nós.

M. T.: *O senhor diz que o ser humano integra a chave de fenda como se fosse seu corpo.*

M. N.: A chave de fenda é a extensão da nossa mão. Qualquer uma dessas ferramentas – o carro, por exemplo, é mais que um objeto inanimado; quando você começa a dirigir o carro, ele se torna uma sua extensão. Pode-se argumentar: tudo bem, essa é uma teoria do ponto de vista psicológico, mas qual é a evidência? Nós temos a evidência fisiológica. Quando nós, seres humanos, usamos uma ferramenta, temos a concepção teórica, abstrata do que aquilo é. Mas para o macaco aquilo é algo que não faz sentido nenhum. Mesmo assim, mostramos que as propriedades funcionais, fisiológicas das células neuronais

mudam de acordo com as propriedades da ferramenta. Nós medimos o padrão espaço-temporal da atividade desse circuito. Vou explicar: quando movo a mão em diferentes direções, as células no córtex motor disparam, elas são *direction-tuned*, disparam proporcionalmente à direção de movimento. Há células que disparam mais antes do movimento em uma direção do que no movimento em outra direção. Se você constrói uma curva onde coloca, num eixo, a direção do movimento: zero grau, cinquenta, oitenta graus, e no outro eixo o número de sinais elétricos produzidos, resulta uma curva *bell shape*, uma curva normal. O pico dela é numa certa direção; cada célula tem a sua, chamada de direção preferencial. Esse pico está relacionado ao movimento da mão, porque a mão é o que o animal aprendeu a usar. Quando você coloca o robô em vez da mão, o *direction-tune* muda, para ficar de acordo com a direção do movimento do braço mecânico. Mas se o *joystick* é reconectado, e o cursor volta a se mover com o movimento da mão do macaco, aí aquela célula volta a funcionar de acordo com a direção do movimento da mão. Ou seja, é como se você tivesse criado caminhos dentro do cérebro, em cima da *representação*. Há um mapa do corpo no cérebro. É como se, em cima desse mapa, um outro mapa fosse criado: o das ferramentas que usamos.

**M. T.:** *E isso tem a ver com a sensação, em mutilados, de que o membro perdido continua presente?*

**M. N.:** Chama-se síndrome do membro fantasma. A pessoa perdeu a perna, por exemplo; a perna não está lá, mas a pessoa pode sentir durante anos a perna se mexendo, doendo. Minha explicação é a seguinte: existe um modelo dentro do cérebro, desde que a gente nasceu, do que é o nosso corpo. Esse modelo está sendo continuamente checado – sinais vêm do corpo o tempo inteiro, as células da medula espinhal estão continuamente disparando a cada vez, por exemplo, que a roupa roça no corpo. Pois bem, você perde a perna. O cérebro está dizendo: tenho duas pernas, mas da periferia só vem sinal de uma. Como isso produz uma discrepância, o cérebro gera a ilusão que a perna está lá – o membro fantasma é central, não é periférico. O entendimento dominante é que a falta do membro resulta numa inflamação do nervo, que geraria uma estimulação peculiar e então aconteceria a ilusão. Eu e várias outras pessoas acreditamos que essa estimulação existe, mas é mínima; que o jogo está sendo decidido aqui [aponta o crânio], a ilusão do membro fantasma é criada aqui. Uma prova bonita disso foi realizada na Califórnia. Um pesquisador reuniu várias pessoas sem braço. Pediu a elas para colocar os dois braços numa caixa de papelão encoberto. Um jogo de espelhos refletia a imagem de um dos braços de tal maneira que, quando a pessoa olhava para a caixa, via dois braços. O membro fantasma desaparece!

Mostrar visualmente para o cérebro dois braços faz a pessoa perder a ilusão. Ou seja, foi uma demonstração elegante de que a coisa é no cérebro e não na periferia.

*M. T.: Os modelos matemáticos foram desenvolvidos pelo senhor?*

**M. N.:** Em meu laboratório. São modelos surpreendentemente simples. O primeiro modelo foi desenvolvido por mim e um estudante sueco em 1999. Todo mundo estava dizendo que precisaríamos de modelos muito sofisticados para criar a interface cérebro-máquina. Como o cérebro é complicado, todo mundo pensava em não-linearidade, em redes neurais. Decidimos tentar um modelo elaborado, mas linear, porque do ponto de vista computacional é muito mais rápido de se implementar. E funcionou. Não é toda a história, a gente não sabe se o modelo é o que o cérebro usa para decodificar os sinais, mas funciona. Nada até hoje foi melhor que o modelo linear – muitos grupos vem utilizando-o e ele funciona.

*M. T.: Esse modelo linear então fez a pesquisa do seu grupo andar mais depressa...*

**M. N.:** Enquanto as pessoas estavam tentando desenhar um modelo complexo, conseguimos montar esse modelo que, além de eficiente do ponto de vista computacional, é também maleável para o aprendizado do animal. O animal tentar entender o modelo linear é muito mais simples do que tentar entender um modelo não linear, simplesmente porque o grau de dificuldade aumenta.