

Modelos matemáticos do cérebro

CENTRO DE PESQUISA NA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (USP) ESTUDA A NEUROMATEMÁTICA, CIÊNCIA QUE PRETENDE DESENVOLVER UMA TEORIA CAPAZ DE DESCREVER E PREDIZER INTERAÇÕES NEURONAIS

por [Fernanda Teixeira Ribeiro](#)

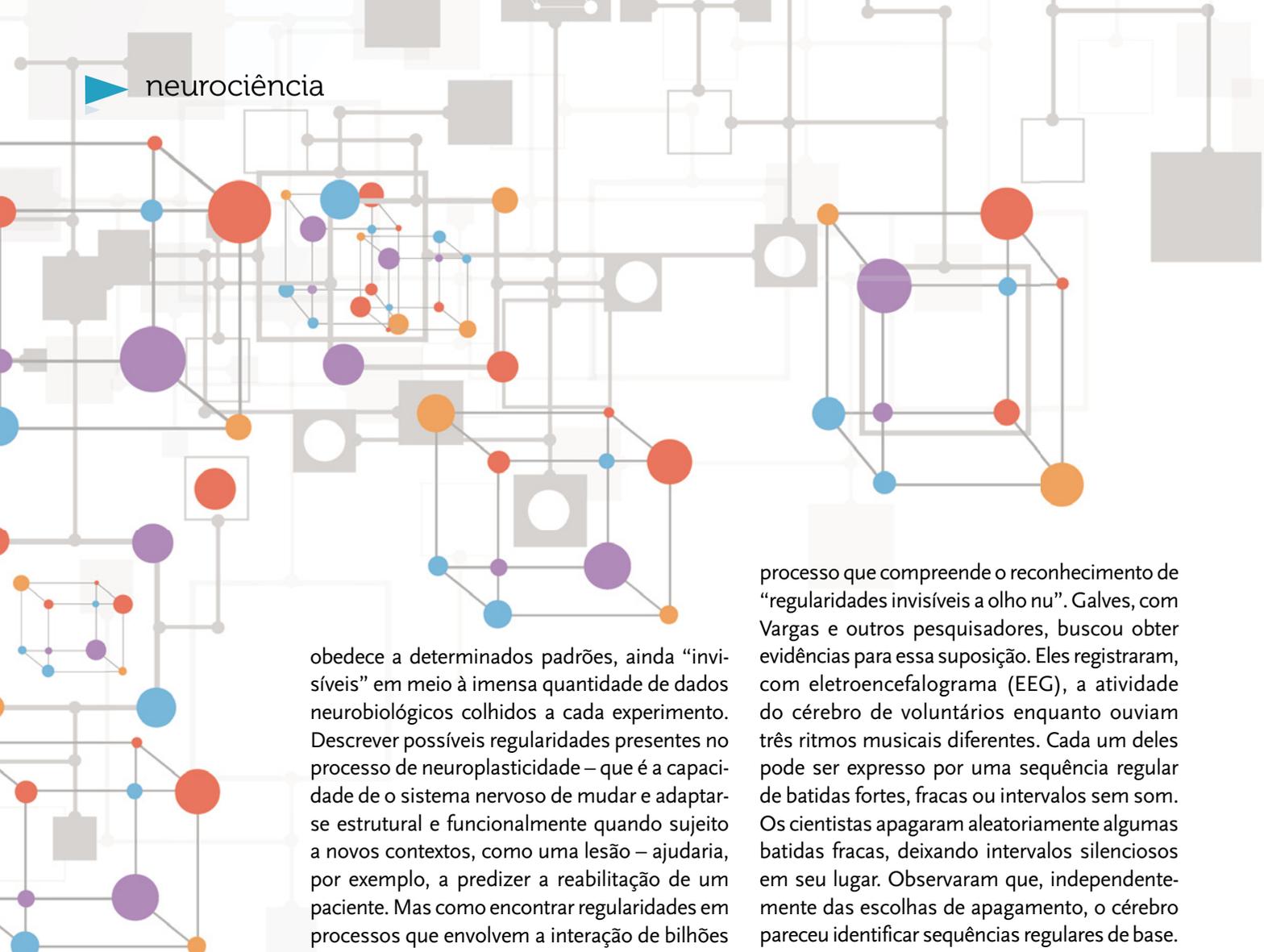
Uma das consequências mais comuns de acidentes de moto são lesões no plexo braquial, um feixe de nervos que sai da medula espinhal e inerva os braços. Ele é uma via de transmissão de comandos motores do cérebro para os músculos e também de informações sensoriais do braço para o sistema nervoso central (SNC). Assim, a lesão desses nervos pode prejudicar ou causar a perda dos movimentos e da sensibilidade. Uma das intervenções atuais para tentar recuperar ou diminuir os danos sobre essas funções é redirecionar, por cirurgia, um nervo que não foi lesionado para o membro afetado e depois estimular a funcionalidade desse caminho alternativo com fisioterapia. A forma como o cérebro interpreta esse novo contexto e se reorganiza é estudada pela equipe coordenada pela neurocientista Cláudia Vargas, no Instituto de Neurologia Deolindo Couto, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

Usando a eletroencefalografia (estudo do registro das correntes elétricas do cérebro), os pesquisadores acompanham, com a intenção de investigar as bases fisiológicas do processo de rearranjo neural, a reabilitação de 25 pacientes que passaram por cirurgia do plexo braquial. Uma das possibilidades consideradas é que a reconstrução dos caminhos neurais

A AUTORA

FERNANDA TEIXEIRA RIBEIRO é jornalista e editora-assistente de *Mente e Cérebro*.





obedece a determinados padrões, ainda “invisíveis” em meio à imensa quantidade de dados neurobiológicos colhidos a cada experimento. Descrever possíveis regularidades presentes no processo de neuroplasticidade – que é a capacidade de o sistema nervoso de mudar e adaptar-se estrutural e funcionalmente quando sujeito a novos contextos, como uma lesão – ajudaria, por exemplo, a prever a reabilitação de um paciente. Mas como encontrar regularidades em processos que envolvem a interação de bilhões de neurônios e outras células, permanentemente influenciada por um ambiente em constante transformação? A resposta pode estar na criação de modelos matemáticos da plasticidade do cérebro.

Cláudia Vargas é um dos neurocientistas que trabalham em parceria com matemáticos, estatísticos, físicos e cientistas da computação de universidades de diferentes países, vinculados ao Centro de Neuromatemática (NeuroMat), Centro de Pesquisa, Inovação e Difusão (Cepid), financiado pela Fapesp, que funciona num dos prédios do Instituto de Matemática e Estatística da Universidade de São Paulo (IME-USP). “Estamos falando de uma matemática a ser feita, inspirada nas questões que a neurobiologia nos coloca; de modelar sistemas de grande dimensão com correlação de espaço e tempo”, diz o matemático e professor do IME Antonio Galves, coordenador do centro.

O NeuroMat trabalha com a ideia de que o cérebro faz “seleção estatística de modelos”,

processo que compreende o reconhecimento de “regularidades invisíveis a olho nu”. Galves, com Vargas e outros pesquisadores, buscou obter evidências para essa suposição. Eles registraram, com eletroencefalograma (EEG), a atividade do cérebro de voluntários enquanto ouviam três ritmos musicais diferentes. Cada um deles pode ser expresso por uma sequência regular de batidas fortes, fracas ou intervalos sem som. Os cientistas apagaram aleatoriamente algumas batidas fracas, deixando intervalos silenciosos em seu lugar. Observaram que, independentemente das escolhas de apagamento, o cérebro pareceu identificar sequências regulares de base. Isso sugere que considerar a seleção estatística de modelos como paradigma da atividade cerebral é um princípio viável para a construção de modelos que deem conta das evoluções temporais detectadas pelos registros eletrofisiológicos em experimentos neurocientíficos.

“Do ponto de vista matemático, a construção de uma teoria geral do cérebro demandaria uma teoria capaz de descrever o surgimento do fenômeno macroscópico (comportamento) a partir da interação entre componentes heterogêneos microscópicos (neurônios e outras células), sujeitos a constante mudança”, define Daniel Takahashi, pesquisador da Universidade Princeton associado ao NeuroMat.

CLUBE DOS RICOS

Um exemplo da colaboração entre matemáticos e neurocientistas é o trabalho publicado por Cláudia e colegas na *Plos One* em janeiro, no qual usaram a teoria dos grafos para analisar dados de eletroencefalograma de um estudo

A teoria dos grafos permite estudar focos de maior conectividade entre redes neurais



feito em 2008 na UFRJ. O neurocientista Ghislain Saunier, na época doutorando no Programa de Pós-Graduação em Fisiologia da UFRJ, exibiu dois vídeos a voluntários. Em ambos, bolinhas brancas se moviam sobre um fundo preto. Em um deles, porém, os pontos estavam dispostos nos lugares das articulações em um corpo humano, de maneira que seu movimento evocava uma pessoa caminhando. No outro, as bolinhas estavam desordenadas, sem forma específica. O registro de imagens do cérebro dos participantes durante o experimento mostrou diferença nos padrões de atividade cerebral enquanto viam o que os pesquisadores chamaram de movimento biológico (a simulação de forma humana) em comparação ao não biológico. A observação mais detalhada, porém, das redes neurais acionadas veio mais recentemente, com a aplicação da já mencionada teoria dos grafos, que estuda como pontos em um conjunto de elementos se relacionam.

No caso, os pontos representam cada eletrodo ajustado sobre a cabeça dos participantes. Os que registraram sinais mais fortemente correlacionados diante de um mesmo estímulo visual foram ligados por segmentos, formando assim um grafo (uma representação estrutural) das redes neurais ativadas. Esta abordagem metodológica tornou possível perceber ligações entre eletrodos posicionados sobre regiões do cérebro associadas à percepção visual e ao controle motor na situação de movimento biológico, e uma integração mais complexa entre diferentes eletrodos durante o movimento não biológico, o que sugere uma mobilização neural mais extensa para tentar interpretar a imagem.

A teoria dos grafos permite estudar pontos do cérebro que apresentam maior conectividade, o chamado “clube dos ricos”. A expressão, usada no *The Journal of Neuroscience* em 2011 pelos neurocientistas que observaram esse tipo de organização, refere-se a 12 pontos “superinterconectados” do cérebro. Os grafos representam

uma maneira de tentar estruturar padrões de atividade usando as relações entre esses pontos.

Vargas e sua equipe construíram uma sequência de grafos que representa as diferentes configurações neurais dos voluntários ao longo do tempo. O trabalho dos pesquisadores do NeuroMat, agora, é tentar desenvolver modelos matemáticos que descrevam essa sequência de grafos variáveis. O desafio é encontrar características estáveis em meio a tantos componentes que interagem entre si ao longo do tempo e estão sujeitos à influência de eventos aleatórios.

“A tarefa da matemática é encontrar novos padrões estruturais imperceptíveis por intuição direta e senso comum”, diz Galves citando o matemático Mikhael Gromov. A neuromatemática busca, portanto, extrair possíveis regularidades estatísticas intrínsecas às interações neuronais, ainda não visíveis na observação de dados experimentais. Segundo Galves, o projeto de pesquisa pretende modelar a atividade neural como inerentemente não estacionária no tempo e não homogênea no espaço e sensível às influências externas produzidas aleatoriamente. “Isso pode levar-nos a descrever e modelar a plasticidade do cérebro.”

“Isso é algo muito rico. Se conseguirmos extrair estimadores de reorganização, poderemos tentar entender quais tipos de organizações dão mais funcionalidade ao paciente”, diz Cláudia. “Os modelos matemáticos podem dar um salto importante nas abordagens de reabilitação.”

O projeto também propõe a construção de um banco de dados de informações de experimentos neurocientíficos, como o trabalho em andamento com pacientes com lesão no plexo braquial no Deolindo Couto. Coordenado pela cientista da computação Kelly Braghetto, professora do IME, o repositório compila, organiza e armazena dados com a intenção de compartilhá-los com pesquisadores que possam submetê-los a análises originais. 

PARA SABER MAIS

Conexões dinâmicas. Igor Zolnerkevic. *Pesquisa Fapesp* 218, abril de 2014.

Biological motion coding in the brain: analysis of visually driven EEG functional networks. Cláudia Vargas, Ghislain Saunier e outros. *Plos One*, janeiro de 2014.

Infinite systems of interacting chains with memory of variable length – A stochastic model for biological neural nets. Antônio Galves e Eva Löcherbach. *Journal of Statistical Physics*, junho de 2013.

Rich-club organization of the human connectome. Martijn P. van den Heuvel e Olaf Sporns. *The Journal of Neuroscience*, novembro de 2011.

Site do NeuroMat: neuro-mat.numec.prp.usp.br.