

Reinvenção do patrimônio

Da repatriação de remanescentes humanos à preservação de espaços de violência, herança cultural ganha novos significados na América Latina

Taxar alimentos ultraprocessados pode reduzir doenças e mortes por excesso de peso

Em 20 anos, volume de água na bacia do Amazonas cresce e intensifica a erosão

Depois do Pix, futura moeda digital e outras inovações modernizam o sistema financeiro

Onda migratória há 1.300 anos é a mais presente no DNA de indígenas sul-americanos

Pesquisa FAPESP ganha o prêmio José Reis de Divulgação Científica e Tecnológica

acompanhe o site de **pesquisa**fapesp

ACESSO ABERTO

REPORTAGENS EXCLUSIVAS

VÍDEOS, PODCASTS E GALERIAS DE IMAGENS

NAVEGAÇÃO SIMPLES

COMPATÍVEL COM DISPOSITIVOS MÓVEIS



Aquecimento global empurra corais para ponto de não retorno

revista **pesquisa**fapesp

artigos newsletter edição impressa

Ciência Política C&T Tecnologia Humanidades Ética Saúde Sustentabilidade Gente Vídeos Podcasts



CIENTOMETRIA

Brasil ocupa 3º lugar entre os países com mais periódicos científicos universitários

Levantamento mapeou revistas afiliadas a instituições de ensino superior ou aos seus departamentos em 148 países

POR SARAH SCHMIDT



ARTES VISUAIS

Obra de Helio Seelinger ajuda a revelar os caminhos da arte moderna no Brasil

Pintor carioca transitou entre simbolismo e experimentação, fora do eixo da Semana de 1922

POR EDUARDO MAGOSI

ADOBE

Plataforma digital reúne fotos, relatos e estudos para preservar a memória da pandemia de Covid-19

BOAS PRÁTICAS

Retratção de artigo sobre energia e economia na Índia expõe provável atuação de fábrica de papers

DEBATE



APRENDENDO COM O



BOAS PRÁTICAS



galeria de imagens



Com consistência fibrosa, o fungo leque-de-anjo pode ser consumido marinado ou dessecado
Marina Pires Corrêa Santos (IFSP)

Programa AmazonFace vai alimentar com mais CO₂ seis trechos da floresta amazônica (MUDANÇAS CLIMÁTICAS, P.40)

CAPA
VERIDIANA SCARPELLI

FOTOS CAPA
Presídio do Carandiru, em São Paulo (1), desenho do artista uruguaio Joaquín Torres-García (2) e máscara indígena (3)

FOTOS 4ª CAPA
Cais do Valongo, no Rio de Janeiro (1), frevo (2), escultura de lemanjá (3) e manto tupinambá (4)

5 EDITORIAL

6 NOTAS

CAPA

12 Comunidades tradicionais e pesquisadores propõem revisões do patrimônio cultural na América Latina

ENTREVISTA

20 O químico Henrique Toma, da USP, destacou-se pelos trabalhos em nanotecnologia molecular

RECURSOS HUMANOS

26 Fuga de cérebros entre doutores brasileiros é muito pequena, indica Ipea

JORNALISMO CIENTÍFICO

29 *Pesquisa FAPESP* conquista o Prêmio José Reis de 2026

BOAS PRÁTICAS

30 A IA não está transformando estudantes em plagiadores, sugere levantamento

DADOS

33 Publicações científicas voltam a crescer após a pandemia

GEOCIÊNCIAS

34 Vazão dos rios da bacia do Amazonas expandiu até 60% nos últimos 20 anos

MUDANÇAS CLIMÁTICAS

40 Experimento vai analisar como parcelas da Amazônia reagem a ambiente rico em CO₂

BIODIVERSIDADE

44 Pesquisa e educação ambiental ampliam conhecimento sobre lontras brasileiras

ETOLOGIA

48 Funções de cupins machos e fêmeas estão refletidas na configuração de seus cérebros

AMBIENTE

50 Turismo de observação de bioluminescência pode ajudar na conservação da Mata Atlântica

GENÔMICA

52 Estudo com genomas completos detalha história do povoamento da América do Sul

FISIOLOGIA

54 Neurônios ligados à expiração forçada aumentam a pressão arterial →



1

Genomas representando 45 povos indígenas indicam três ondas migratórias para a América do Sul (GENÔMICA, P.52)



VÍDEOS

AQUECIMENTO GLOBAL

EMPURRA CORAIS PARA PONTO DE NÃO RETORNO

Mortalidade em massa registrada entre 2024 e 2025 acende alerta sobre o futuro dos recifes no Brasil e no mundo



SISTEMA SOLAR

GANHA NOVO MISTÉRIO COM ANÉIS DE QUÍRON

Descoberta liderada por brasileiros mostra centauro com estrutura anelar ainda em transformação



PODCAST

INOVAÇÃO

NA MESA DE BAR

O esforço de pesquisadores para criar cervejas usando leveduras da biodiversidade brasileira. E mais: cicatrizaçã; bolsas científicas; papel

Este conteúdo está disponível em acesso aberto no site www.revistapesquisa.fapesp.br, que contém, além de edições anteriores, versões em inglês e espanhol e material exclusivo

EPIDEMIOLOGIA

58 Taxar ultraprocessados pode reduzir doenças e mortes associadas ao excesso de peso

FÍSICA

60 Mapeamento mostra como descoloração e radiação danificam o cabelo

INOVAÇÃO

62 Novas ferramentas digitais estão transformando o sistema financeiro nacional

BIOTECNOLOGIA

68 Plataforma de IA e kit de reagentes simplificam produção de macromoléculas sintéticas

ENGENHARIA DE ALIMENTOS

72 Formulação permite reduzir gordura saturada em produtos industrializados

LITERATURA

76 Novas edições de Graciliano Ramos buscam restituir correções feitas pelo próprio autor

LINGUÍSTICA

80 Especialistas em fonética forense auxiliam na investigação de delitos

OBITUÁRIOS

84 Fernando Novais (1933-2026)

86 Nestor Goulart Reis Filho (1931-2026)

88 Silvano Raia (1930-2026)

MEMÓRIA

90 No início do século XX, Bulhões Carvalho implementou as bases da estatística no Brasil

ITINERÁRIOS DE PESQUISA

94 A historiadora Ana Silvia Volpi Scott encontrou refúgio na profissão após a morte da filha

RESENHA

96 Política dos algoritmos – Instituições e as transformações da vida social, de Ricardo F. Mendonça, Fernando Filgueiras e Virgílio Almeida. Por Fabio Kon

97 COMENTÁRIOS

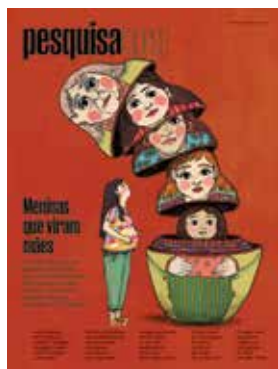
98 FOTOLAB

Lontras: estudo mostra animal como mensageiro da saúde do ecossistema em que vive (BIODIVERSIDADE, P.44)



2

Patrimônios



Revista premiada: reconhecimento à qualidade da cobertura de C&T (JORNALISMO CIENTÍFICO, P. 29)

Os movimentos culturais estão sempre criando inovações em algum setor da sociedade que ensejam novas formas de ver e pensar sobre temas aparentemente já estabelecidos. O patrimônio cultural é um deles. Originalmente visto apenas como sinônimo de edificações históricas e obras de arte, hoje trata também de bens imateriais (práticas, saberes, celebrações), paisagens (formas de ocupação do espaço, modos de vida), entre outras possibilidades de manifestação que se deseja ver preservada.

A América Latina vem desenvolvendo um jeito próprio de pensar o patrimônio. Recentemente, esse arcabouço ganhou maior concretude com o lançamento de um atlas, que traz análises e verbetes sobre os significados contemporâneos do patrimônio latino-americano, feito por 40 pesquisadores de 13 países da região. O debate ocorre desde a década de 1960 e começou a ser pensado para abranger a proteção de músicas, danças e expressões populares. Na última década, novos elementos entraram na discussão, como a repatriação de remanescentes humanos e espaços associados a experiências traumáticas, como prisões, manicômios, lugares ligados à escravidão e centros de repressão de ditaduras. A editora assistente Christina Queiroz explica como essa mudança de entendimento rompeu com a tradição de valorizar somente projetos arquitetônicos históricos (página 12).

A diversidade está presente também no estudo sobre as três ondas migratórias que chegaram à América do Sul. A mais recente, sabe-se agora, ocorreu por volta de 1.300 anos atrás. Essa terceira onda não estava documentada e só surgiu após o sequenciamento de 128 genomas representando 45 povos indígenas de oito países sul-americanos. Além dessa descoberta, algo mais merece destaque nesse trabalho: a biomédica Putira Sacuena, da UFPA, é a primeira mulher indígena a trabalhar com antropologia genética, como lembrou a

geneticista Tábata Hünemeier, da USP, coordenadora do estudo. A editora de Ciências Biológicas Maria Guimarães conta essas histórias a partir da página 52.

Um conjunto de iniciativas de base tecnológica conduzidas pelo Banco Central brasileiro vem causando um impacto significativo no sistema financeiro nacional. A mais famosa delas é o Pix, o modo de transferência monetária instantânea usado por 80% da população. Embora tenha apoio de estudos realizados em universidades, a maioria das inovações nessa área vem da pesquisa e do desenvolvimento feitos dentro de instituições bancárias. Uma delas, chamada de Drex, é uma versão digital do real, que deverá estar disponível em versão-piloto ainda este ano. A reportagem do colaborador Domingos Zapparoli nos diz como o Drex vai funcionar (página 62).

Pesquisa FAPESP tem noticiado os principais fatos da ciência brasileira contemporânea em seus 27 anos de existência. Quem nos lê, certamente já notou que também não esquecemos o passado. Em todas as edições publicamos a seção Memória, que celebra eventos, contribuições e cientistas de outrora; e, de modo intermitente, publicamos obituários, notadamente sobre pesquisadores que tiveram grande reconhecimento em sua área. Nesta edição tratamos de três: o historiador Fernando Novais, o arquiteto Nestor Goulart e o médico Silvano Raia (páginas 84, 86 e 88, respectivamente). São três trajetórias que deixaram marcas na academia e na sociedade.

Para encerrar, não poderia trazer uma notícia melhor: *Pesquisa FAPESP* ganhou o prêmio José Reis de 2026, concedido pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) na categoria Instituição e Veículo de Comunicação (página 29). A equipe responsável celebra e agradece o reconhecimento. Todo o patrimônio da revista está disponível on-line, gratuitamente, em www.revistapesquisa.fapesp.br.

NELDSO N MARCOLIN — editor-chefe



Gaviões-asa-de-telha são os primeiros a avisar sobre possíveis predadores

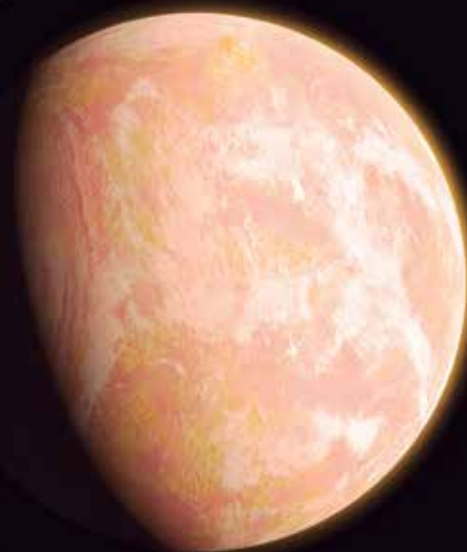
Perigo à vista!

Aves de rapina do alto das árvores são as primeiras a fazer barulho quando avistam possíveis predadores, que podem ser até mesmo visitantes humanos passeando pela mata. O gavião-asa-de-telha (*Parabuteo unicinctus*) solta gritos agudos e repetidos, kiii-kiii-kiii, o gavião-bombachinha-grande (*Accipiter bicolor*) emite notas curtas rápidas, ki-ki-ki-ki-ki, e o falcão-de-coleira (*Falco femoralis*) um chamado agudo e ritmado, klee-klee-klee. Outras aves próximas captam o chamado, emitem seus próprios sons e espalham o alarme. Rapidamente, diferentes espécies – e não apenas de aves – se conectam em uma rede de informações e fazem a floresta silenciar brevemente.

Espécies de aves do gênero *Monasa*, como o chora-chuva-preto (*Monasa nigrifrons*), são grandes propagadores de sinais de alarme após ouvirem chamados de outras espécies, que podem ser maiores, incluindo macacos-prego (*Sapajus* spp.) e macacos-aranha (*Ateles* spp.). Biólogos da Suíça, da Austrália, do Peru e dos Estados Unidos reconstituíram essa rádio floresta analisando as interações entre 370 espécies de aves e 10 de primatas no Parque Nacional Manu, no Peru. Para simular a propagação de alarmes, eles reproduziram chamados de uma ou mais espécies de aves e primatas e registraram a propagação de alarmes e as reações dos animais (*Current Biology*, 20 de abril).

Mesmo mineral, outro resultado

Em 2024, geólogos de São Paulo e Minas Gerais examinaram as idades de 15 mil amostras do mineral rutilo, que se forma sob temperaturas baixas e altas pressões, verificadas somente quando blocos de rochas que se movimentam em sentidos opostos se encontram. As análises indicaram que as placas litosféricas começaram a se encontrar entre 2,1 bilhões e 1,8 bilhão de anos atrás. O mesmo grupo, em outra análise, chegou a um resultado diferente. “Em rochas da Chapada Diamantina com idade entre 1,8 bilhão e 1 bilhão de anos, encontramos grãos de rutilo que indicam a tectônica [movimentação] de placas operando em períodos bem mais antigos”, conta o geólogo Rodrigo Cerri, da Universidade Estadual Paulista (Unesp), *campus* de Rio Claro. “Pelo menos na região que é hoje o Brasil, a tectônica de placas poderia estar operando a partir de 3,2 bilhões a 3 bilhões de anos atrás, já no período Arqueano, quando a crosta terrestre começou a se formar e há uma intensa atividade vulcânica” (*Earth and Planetary Science Letters*, 1º de maio).



Representação da Terra no período Arqueano

2

Infravermelho revela o sexo dos embriões antes de nascerem

Uma equipe da Universidade de Illinois em Urbana-Champaign (Uiuc), nos Estados Unidos, usou imagens de infravermelho próximo (NIR) e hiperespectrais (HSI) para prever a mortalidade e o sexo de pintinhos em ovos de galinha antes de eclodirem. Para examinar a mortalidade, em vez de projetar uma luz forte através do ovo, como normalmente se faz, os pesquisadores se valeram de uma câmera hiperespectral para

adquirir imagens de 300 ovos antes da incubação e após quatro dias na incubadora. Um modelo computacional atingiu 97% de precisão no quarto dia. Outro teste registrou 75% de precisão no início da incubação na classificação de embriões machos e fêmeas. Como interessam apenas as fêmeas, capazes de pôr mais ovos, 6 bilhões de pintinhos machos são descartados todo ano nos Estados Unidos. “Se pudermos identificar

os embriões precocemente, podemos evitar o descarte dos machos e usar os ovos para consumo ou na produção de alimentos”, disse Wadud Ahmed, da Uiuc, em um comunicado da universidade. “Com NIR e HSI basta escanear os ovos e o modelo de aprendizado de máquina determinará o parâmetro desejado”, acrescentou Mohammed Kamruzzaman, também da Uiuc (*British Poultry Science*, 20 de fevereiro).

FOTOS 1 JAY PIERSTORFF/GETTY IMAGES 2 NASA/GODDARD SPACE FLIGHT CENTER/FRANCIS REDDY 3 SCOT NELSON/WIKIMEDIA COMMONS



3

Raízes de tomateiro infectado com nematoides das galhas

Vermes indicam o estado de conservação dos solos

Quer saber se um solo está saudável? Examine a variedade e a quantidade de um grupo de vermes de corpo cilíndrico e alongado, os nematoides (a minhoca pertence a outro grupo, os anelídeos). Quanto maiores, mais conservado é o solo. Inversamente, quanto menores, mais degradado é o solo. Uma equipe do Instituto Biológico de São Paulo notou contrastes acentuados entre áreas de vegetação nativa ou sob diferentes intensidades de ocupação agrícola no Brasil e em outros países. Em Goiás, Minas Gerais e Distrito Federal, nematoides dos grupos Criconematoidea, Anguinidae e Tylenchidae, comuns em áreas de vegetação nativa, escassearam em áreas ocupadas por culturas agrícolas; por sua vez, os dos gêneros *Pratylenchus* e *Ditylenchus* eram encontrados somente em terras cultivadas. Alguns causam danos agrícolas, como o nematoide das galhas (*Meloidogyne javanica*) e o cavernícola (*Radopholus similis*). Difíceis de identificar a olho nu, esses animais, com milímetros de comprimento, são transportados por água, ferramentas, tratores ou pelas próprias plantas (*Arquivos do Instituto Biológico*, fevereiro).



O *pizzicato* produz vibrações agora criadas por computador

Empresa paulista vai produzir diamantes

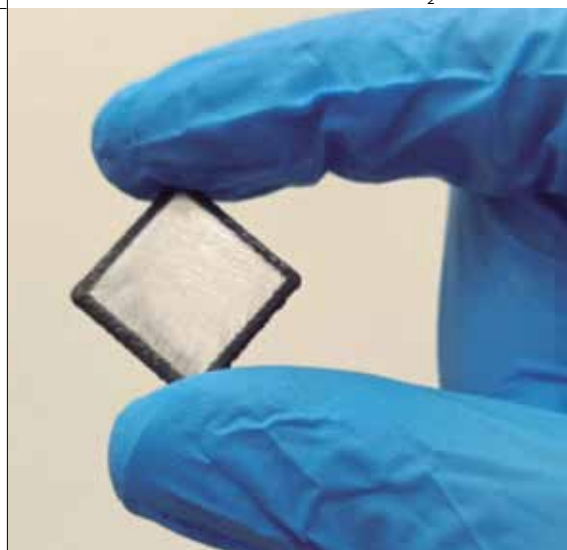
Nascida da Clorovale, fabricante de diamantes sintéticos policristalinos sediada em São José dos Campos, interior paulista, a TCarbon começou a operar em um prédio anexo ao da outra empresa. Seu propósito é fabricar diamantes monocristalinos, normalmente importados dos Estados Unidos, Índia, China e Japão. Também são produzidos por meio da deposição química de átomos de carbono sobre uma base de nióbio ou molibdênio, mas sob pressão três vezes mais alta e temperaturas mais altas que as usadas para os policristalinos. Outra diferença: “O policristalino cresce em múltiplas direções e o monocristalino tem uma única direção de crescimento”, explica o físico Vladimir Airoidi, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) e consultor científico das duas empresas. Os dois tipos são tão resistentes quanto os naturais e têm várias aplicações. Os policristalinos são usados para revestir ferramentas e brocas ultrassônicas para odontologia e os monocristalinos na produção de joias e componentes para sensores e computadores quânticos e baterias nucleares.

Violino virtual se apoia em leis da física

Uma equipe do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT) fez um violino computacional, que captura a física do instrumento e produz realisticamente seu som quando as cordas são dedilhadas, um tipo de execução conhecido pelos músicos como *pizzicato*. Ao dedilhar uma corda, um violinista a puxa lateralmente e a solta, fazendo-a vibrar. As vibrações se propagam pelo instrumento, espalham-se pelo ambiente e permitem ao ouvinte captar o som. Apesar das limitações, o violino computacional poderia servir para construtores de instrumentos musicais ajustarem parâmetros, como o tipo de madeira ou a espessura do corpo do violino, e então ouvir o som resultante. Quando os pesquisadores variaram a espessura da tampa traseira do violino virtual ou mudaram o tipo de madeira, puderam ouvir diferenças claras nos sons. Já existem softwares que permitem aos usuários experimentar violinos virtuais, mas seus sons geralmente resultam da amostragem e da média de milhares de notas tocadas por violinos reais. O arco do violino, segundo os pesquisadores, é uma interação muito mais complexa de modelar (*npi Acoustics*, 29 de abril).

Possível fonte de órgãos para transplantes

A Universidade de São Paulo (USP) apresentou o primeiro porco clonado do Brasil, resultado de seis anos de trabalho (*ver Pesquisa FAPESP nº 339*). Após uma gestação de quase quatro meses, o porquinho nasceu saudável, com 1,7 quilograma (kg), no Instituto de Zootecnia, em Piracicaba. Esse e outros animais geneticamente modificados devem ser usados para fornecer órgãos para transplantes em seres humanos. Para reduzir o risco de rejeição, foram implantados sete genes humanos nas células suínas. Os embriões resultantes dessas edições foram transferidos para fêmeas híbridas. Os porcos têm sido escolhidos como potenciais doadores para xenotransplante – transferência de órgãos entre espécies diferentes – pela semelhança de tamanho e funcionamento de seus órgãos com os dos humanos. Com sete meses os animais já atingem o peso necessário ao transplante para uma pessoa com 80 quilos. A meta é aproveitar inicialmente rim, córnea, coração e pele, que atendem 94% da demanda por transplantes do Sistema Único de Saúde (*Agência FAPESP*, 23 de abril).

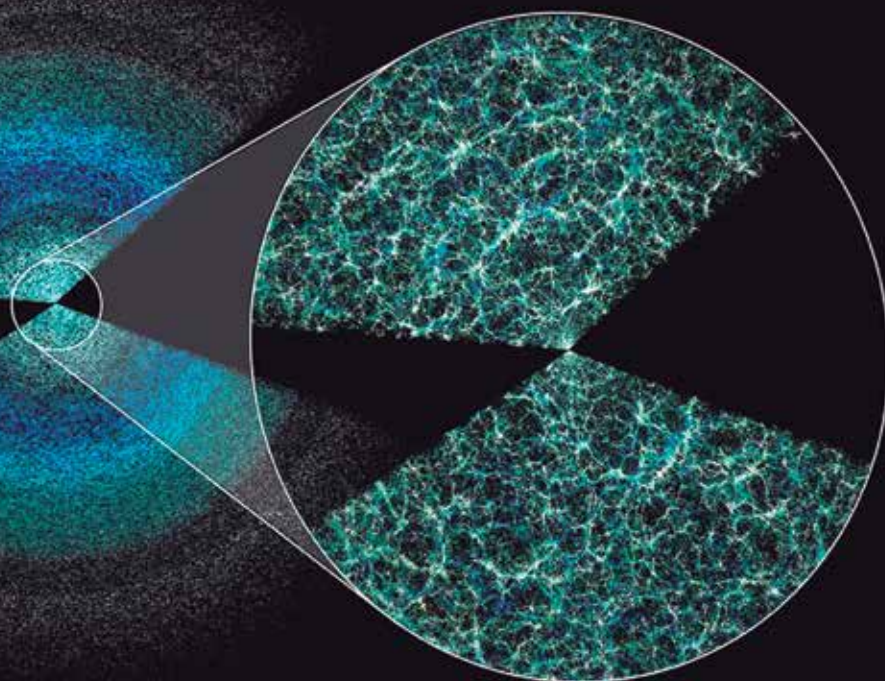


Lâmina com diamante monocristalino: componente para sensores

47 milhões de galáxias mapeadas

Gerenciado pelo Laboratório Nacional Lawrence Berkeley (Berkeley Lab) do Departamento de Energia dos Estados Unidos, o Instrumento Espectroscópico de Energia Escura (Desi) concluiu um mapa com 47 milhões de galáxias e quasares (núcleos ativos de galáxias distantes), além de 20 milhões de estrelas próximas usadas para estudar a Via Láctea. O levantamento de cinco anos, concluído antes do prazo e com 13 milhões de galáxias a mais do que o planejado inicialmente, produziu o maior mapa 3D de alta resolução do Universo já feito. Ao comparar a forma como as galáxias se agrupavam no passado com sua distribuição atual, os pesquisadores rastrearam a influência da energia escura ao longo de 11 bilhões de anos da história cósmica. Os dados obtidos nos três primeiros anos do Desi sugeriram que a energia escura poderia estar evoluindo ao longo do tempo. Se confirmado, isso representaria uma grande mudança na forma de pensar o Universo e seu possível destino, que depende do equilíbrio entre matéria e energia escura (Berkeley Lab, 15 de abril).

A Terra está no centro deste mapa de galáxias. No detalhe, a estrutura em grande escala do Universo



China aprova implante cerebral

A China aprovou um implante cerebral fabricado pela Neuralink, de Xangai, que permite que pessoas com paralisia movam as mãos. É a primeira aprovação mundial de uma interface cérebro-computador invasiva para uso comercial. O chip cerebral, do tamanho de uma moeda, contém oito eletrodos e é colocado em um lado da dura-máter do cérebro, acima do córtex sensorio-motor primário. Os eletrodos registram a atividade elétrica neuronal quando uma pessoa imagina mover a mão.

Os sinais são enviados a um computador, decodificados e usados para controlar uma luva robótica utilizada pela pessoa, movendo sua mão. Um homem conseguiu agarrar e mover objetos com a mão direita enluvada após receber o dispositivo, indicando que poderia realizar tarefas como comer e beber. Depois de usar a interface cérebro-computador por nove meses, conseguiu agarrar objetos com a mão esquerda, que não havia usado a luva. Exames indicaram que suas conexões

neurais na medula espinhal haviam se recuperado. Dispositivos semelhantes estão sendo testados em um número limitado de pacientes. Um deles, da Neuralink, permitiu que três pessoas com paralisia controlassem um cursor na tela do computador pensando em mover os dedos. A tecnologia da Neuralink consiste em um implante fixado no crânio que é conectado a fios contendo mais de mil eletrodos, que penetram no córtex motor do paciente (*Nature Biotechnology*, 17 abril).



Representação artística do *Purgatorius*, um arborícola

Fim dos dinossauros, início dos primatas

Dentes fósseis com poucos milímetros de altura elucidaram um pouco mais da história da evolução dos seres humanos. Os dentes são de *Purgatorius*, o parente mais antigo conhecido de todos os primatas – um roedor de 10 centímetros (cm) de comprimento e 10 gramas (g) de peso que provavelmente vivia em árvores e se alimentava de insetos e frutas. Os dentes, desenterrados na bacia de Denver, no estado do Colorado, mais ao sul dos Estados Unidos, indicam que essa espécie de primata arcaico começou a se espalhar imediatamente

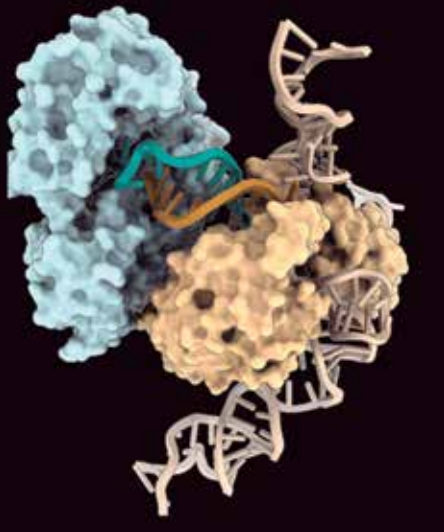
após a extinção dos dinossauros, há cerca de 66 milhões de anos. Até então, esse mamífero havia sido encontrado apenas no atual estado de Montana e no sudoeste do Canadá. “Pequenos fósseis podem facilmente passar despercebidos”, comentou o coordenador do estudo, Stephen Chester, em um comunicado da City University of New York (Cuny), na qual trabalha. “Com buscas mais intensivas, podemos encontrá-los com mais facilidade e descobriremos muitos outros espécimes importantes” (*Journal of Vertebrate Paleontology*, 2 de março).



Anéis do tronco de imburana expressam variações do clima ao longo de 150 anos

Norte de Minas já foi ainda mais seco

Pesquisadores da Universidade de São Paulo (USP), do Instituto de Pesquisas Ambientais (IPA) e do Instituto Weizmann, de Israel, conseguiram descobrir como era o clima no norte de Minas Gerais há 150 anos analisando os anéis de crescimento do tronco de 28 imburanas (*Commiphora leptophloeos*), árvore de até 9 metros (m) de altura e frutos comestíveis, típica de ambientes secos. Coletadas no Parque Nacional Cavernas do Peruaçu, em Januária (MG), as amostras de árvores vivas ou mortas indicaram como as plantas cresciam, em resposta ao clima, de 1870 a 2017. Já nos troncos fósseis, os vasos que conduzem a água na madeira, mais estreitos que nas outras amostras, sugerem que a água era escassa, o ambiente ainda mais seco que o atual e as árvores tinham menor porte, formando uma floresta mais baixa e aberta. Na região, as pesquisas sobre o clima utilizando anéis de crescimento de árvores se concentravam em duas espécies comuns na região, o cedro-rosa (*Cedrela fissilis*), de até 30 m de altura, e a amburana (*Amburana cearensis*), que chega a 12 m. Os fósseis de imburana foram os primeiros a ser estudados (*Dendrochronologia*, maio).



Fitas de DNA (laranja e azul-escuro) são sintetizadas por uma enzima (amarelo) a partir de um molde de RNA (bege) e por outra (azul-claro) com seus próprios aminoácidos

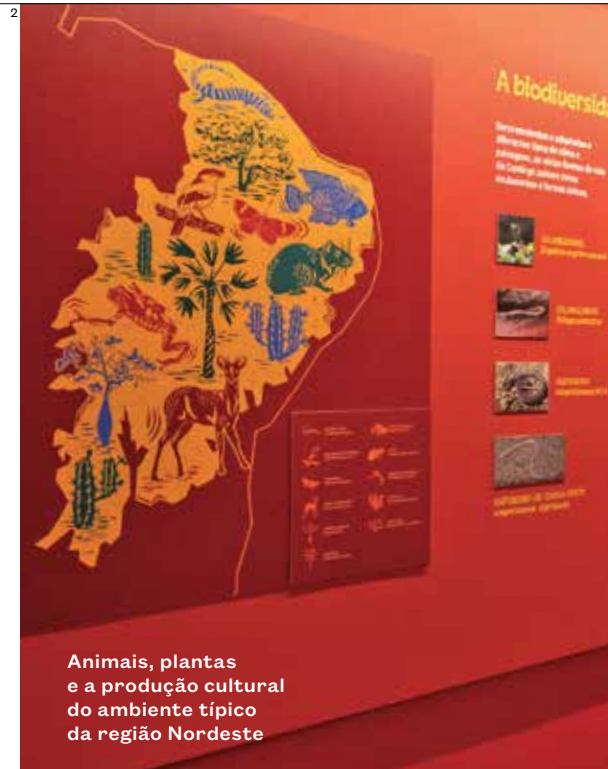
Outra forma de construir o DNA

A construção do ácido desoxirribonucleico (DNA), responsável pela transmissão de informações biológicas de uma geração a outra, geralmente requer um molde a partir do qual proteínas construtoras chamadas enzimas possam trabalhar. Uma equipe da Universidade Stanford, nos Estados Unidos, descobriu que isso pode também ser feito de outra forma: um tipo de enzima conhecida como polimerase Drt3b funciona sem um modelo. Seu próprio formato atua como um molde a partir do qual o novo DNA pode ser sintetizado, sem a necessidade de materiais de referência externos. “Foi uma grande surpresa. Essa é uma maneira fundamentalmente nova pela qual a vida produz DNA”, disse Alex Gao, de Stanford, à revista *Science*. Feita a partir de experimentos com a bactéria *Escherichia coli* planejados para identificar enzimas que poderiam ajudar na defesa contra vírus, a descoberta tem implicações para a evolução biológica e os blocos de construção da vida. O conjunto de enzimas Drt3, que abrange a Drt3b, representa outra função surpreendente para as transcriptases reversas, enzimas associadas a vírus como o HIV, que se vale de uma delas para sintetizar uma cópia de seu genoma e inseri-la nos cromossomos da célula hospedeira (*Science*, 16 de abril).

FOTOS 1 MILENA DE GODOY-VEIGA/IFA 2, 3 E 4 JOSÉ FELIPE BATISTA/COMUNICAÇÃO BUTANTAN ILLUSTRACÃO ANDREY ATUCHIN/CUNY IMAGEM HYUNBIN LEE/SCIENCE

A diversidade da Caatinga no Butantan

Ao percorrer o Museu Biológico do Instituto Butantan, na capital paulista, de repente a luz muda e fica mais quente: o visitante chegou à Caatinga. Os tons terrosos em vermelho e amarelo das paredes, que deixam de ser uma sucessão de terrários com serpentes, também remetem ao único bioma exclusivamente brasileiro. Coerente com a marca registrada do instituto, o visitante vê ali terrários com cobras e lagartos vivos, coletados pela bióloga Thaís Guedes, do *campus* de Rio Claro da Universidade Estadual Paulista (Unesp). O conjunto inclui aves empalhadas fornecidas pelo Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo (MZ-USP), artefatos arqueológicos do Museu de Arqueologia e Etnologia (MAE-USP) e, abarcando uma visão de sociobiodiversidade, sons gravados, trechos de obras literárias e matrizes de xilogravuras típicas encomendadas à artista Yara Santos. “Queremos quebrar essa tradição antiga do saber científico como onisciente e mostrar os saberes e cosmologias tradicionais”, comenta a bióloga Erika Hingst-Zaher, diretora do museu. A visão da natureza do semiárido também se expande para relevos variados e verdejantes, para além da vegetação seca e espinhenta que habita o imaginário de quem nunca foi à região. A exposição fica em cartaz até 4 de outubro.



Animais, plantas e a produção cultural do ambiente típico da região Nordeste





CAPA

Memória em disputa



De igrejas coloniais à repatriação de remanescentes humanos, comunidades tradicionais e pesquisadores propõem revisões do patrimônio cultural na América Latina

CHRISTINA QUEIROZ — ilustrações VERIDIANA SCARPELLI

Em Salvador, o crânio de um africano muçulmano nagô, retirado da Bahia no século XIX e levado para os Estados Unidos, está no centro de uma articulação internacional por repatriação. Em São Paulo, antigos espaços de repressão política e isolamento sanitário começam a ser protegidos não por seu valor arquitetônico, mas pelo que revelam sobre violência de Estado, exclusão e resistência. Esses casos, distintos entre si, apontam para uma mesma mudança:

o patrimônio cultural deixou de ser entendido apenas como monumento, edifício ou obra de arte e passou a incluir práticas sociais, memórias traumáticas, territórios, saberes, corpos e reivindicações de grupos historicamente silenciados.

Para mapear essas novas formas de pensar o patrimônio, o historiador Rodrigo Christofolletti, da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), coordenou a publicação do *Atlas do patrimônio latino-americano*, que reúne análises de 40 pesquisadores de 13 países da região. Composto por 29 verbetes, o livro foi publicado em dezembro de 2025 para discutir os significados contemporâneos do tema no continente. “A América Latina desenvolveu, ao longo do tempo, uma visão própria e crítica sobre seu patrimônio cultural e natural”, sustenta o pesquisador. Assim, os verbetes da obra articulam debates conceituais e apresentam experiências ligadas a memórias ancestrais, paisagens culturais e práticas cotidia-

nas, especialmente aquelas de povos indígenas, frequentemente impactados por processos de urbanização e pela crise climática.

Na visão de Christofolletti, um gesto primordial dessa mudança de perspectiva aconteceu em 1943, quando o artista uruguaio Joaquín Torres-García (1874-1949) fez o desenho *América invertida*, que propõe uma ruptura com a cartografia tradicional ao colocar o Sul no topo do mapa do mundo. “Mais do que uma inversão estética, trata-se de um posicionamento político e epistemológico: olhar o continente a partir de si mesmo, deslocando hierarquias do pensamento eurocêntrico”, comenta o pesquisador. Isso significa que, na América Latina, essa ampliação conceitual vem sendo acompanhada por uma disputa sobre o lugar da região na produção de conhecimento.

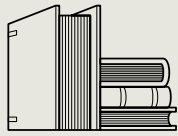
Especialista em diplomacia cultural que atua na Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (Unesco), em Paris, na França, a boliviana Yoselin Rodríguez explica que, hoje, o patrimônio cultural latino-americano deixou de ser compreendido apenas como objeto estático e é visto mais como prática viva. “Na região, o patrimônio está nos monumentos, mas também nas relações entre as pessoas, nos mercados, nas danças, músicas e na comida”, defende Rodríguez, que coordenou o *Atlas* em parceria com Christofolletti.

Ela diz que, historicamente, na Europa, o patrimônio cultural costuma estar associado a edificações históricas e ser entendido como um elemento do passado a ser conservado. Na América Latina, por outro lado, prevalece a ideia de uma memória viva, em que natureza, cultura e comu-

Acima, escavação no antigo DOI-Codi, em São Paulo; o tombamento do espaço, em 2014, reconheceu sua relação com a violência da ditadura militar

Patrimônio em palavras

Glossário reúne conceitos que ajudam a compreender como bens culturais e tradições são reconhecidos, preservados e transmitidos

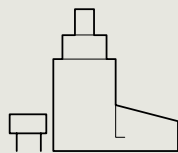


BEM CULTURAL

É todo bem, material ou imaterial, que expressa a história, a memória ou a cultura de um

grupo social. Pode incluir edifícios, obras de arte, livros, festas, saberes, paisagens, arquivos e sítios arqueológicos. Em sentido amplo, qualquer produção cultural pode ser considerada um bem cultural.

No campo do patrimônio, porém, o termo costuma se referir a bens reconhecidos e protegidos por lei. A ideia ganhou força em convenções internacionais voltadas à proteção de bens ameaçados por guerras e outros conflitos armados. No Brasil, o conceito foi ampliado pela Constituição de 1988, que passou a reconhecer como patrimônio cultural tanto os bens materiais quanto os imateriais ligados à identidade e à memória dos diferentes grupos sociais.



TOMBAMENTO

Instrumento jurídico mais antigo de proteção do patrimônio cultural no Brasil, foi instituído pelo Decreto-lei nº 25, de 1937, e

reafirmado pela Constituição de 1988. Seu objetivo é reconhecer e preservar bens considerados relevantes para a memória coletiva e a história do país. Pode incidir sobre edifícios, conjuntos urbanos, obras, documentos, sítios arqueológicos e paisagens culturais. O tombamento não transfere a propriedade do bem, mas estabelece restrições para impedir sua destruição, descaracterização ou perda de valor cultural. Após quase nove décadas, continua sendo um dos principais mecanismos de preservação do patrimônio cultural brasileiro.



PAISAGEM CULTURAL

Porção do território moldada pela interação entre grupos humanos e natureza. Inclui formas de ocupação do espaço,

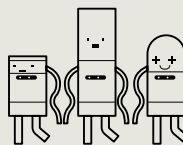
modos de vida, práticas culturais, construções e ambientes naturais. O conceito procura superar a separação rígida entre patrimônio natural e patrimônio cultural. Na Unesco, tornou-se uma categoria de patrimônio em 1992; no Brasil, foi incorporado pelo Iphan em 2009.



PATRIMÔNIO IMATERIAL

Refere-se a práticas, saberes, celebrações, formas de expressão e modos de vida

transmitidos entre gerações. Abrange festas, danças, músicas, culinária, narrativas orais, línguas e conhecimentos tradicionais. No Brasil, passou a ser reconhecido oficialmente como parte do patrimônio cultural pela Constituição de 1988, em diálogo com a antropologia e com políticas promovidas pela Unesco. Diferentemente de edifícios ou objetos, depende da continuidade das comunidades que o praticam no cotidiano. Por isso, sua salvaguarda envolve a participação ativa dos grupos detentores dessas tradições. Instrumentos como registros, inventários e planos de salvaguarda orientam essa política.



CULTURA POPULAR

Designa práticas, saberes e formas de criação associados a diferentes grupos sociais.

No século XIX, esteve ligada aos estudos de folclore e à construção de identidades nacionais. No Brasil, ganhou destaque em pesquisas sobre literatura oral, festas, músicas, rituais e tradições populares. Por muito tempo, foi entendida como algo rural, anônimo, coletivo e ameaçado pela modernização. Estudos recentes, porém, questionam essa visão e ressaltam seu caráter dinâmico e híbrido. Por isso, muitos pesquisadores preferem falar em culturas populares, no plural.



BENS PROCURADOS

São bens culturais desaparecidos de seu local de origem, guarda ou exposição. Em muitos casos, trata-se de objetos protegidos

por tombamento ou por legislação específica, cuja circulação, venda, transferência ou saída do país depende de autorização do órgão responsável. Em situações de furto, roubo ou extravio, o proprietário deve comunicar o fato ao Iphan. Quando o paradeiro do bem permanece desconhecido, ele passa a integrar a categoria de bem procurado. Desde 1998, o Iphan mantém um banco de dados público com informações sobre bens culturais protegidos desaparecidos. A recuperação desses itens envolve ações articuladas entre instituições como Polícia Federal, Ministério Público e Interpol.



A cidade de Congonhas (MG), samba de roda do Recôncavo Baiano e frevo pernambucano revelam como patrimônio, música e memória coletiva ajudam a contar a história do país

nidade são dimensões inseparáveis. Um marco dessa perspectiva foi o Fórum Internacional de Folclore, realizado em 1960, em Buenos Aires, na Argentina. Na ocasião, países latino-americanos passaram a discutir a proteção de músicas, danças e expressões populares, ampliando o debate para além de monumentos e edifícios históricos. Segundo Rodríguez, essa agenda começou a ganhar projeção internacional a partir dos anos 1970, embora a consolidação de um marco normativo abrangente tenha levado décadas.

Foi somente em 2003 que a Unesco instituiu a Convenção para a Salvaguarda do Patrimônio Cultural Imaterial, o tratado internacional voltado à proteção de expressões culturais vivas, como tradições, línguas, artes performáticas, rituais e técnicas artesanais, entre elas o samba de roda e o frevo. “Países da América Latina como Bolívia, Brasil, Peru e México tiveram papel central na elaboração do documento, ao defenderem a inclusão dessas manifestações em um sistema internacional de proteção e promoverem uma visão mais integrada entre comunidade, cultura, natureza e práticas vivas”, relata a pesquisadora.

Segundo Rodríguez, a convenção representou uma mudança de paradigma ao reconhecer que patrimônio cultural não se restringe a objetos materiais. Vale lembrar que, no Brasil, o escritor e musicólogo Mário de Andrade (1894-1945) come-

çou a pensar em como salvaguardar o patrimônio imaterial do país na década de 1930.

De qualquer forma, durante boa parte do século XX, o patrimônio cultural latino-americano esteve associado, sobretudo, a bens materiais ligados à formação dos Estados nacionais. No Brasil, isso significou privilegiar igrejas, centros históricos e edificações coloniais, como o conjunto arquitetônico da cidade de Congonhas (MG).

A historiadora Cristina Meneguello, da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), explica que essa concepção se institucionalizou com a criação, em 1937, do Serviço do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (Sphan), rebatizado em 1994 como Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (Iphan). Segundo a instituição, patrimônio cultural corresponde ao conjunto de bens materiais e imateriais que, por seu valor histórico, artístico, paisagístico ou etnográfico, é considerado fundamental para a identidade e memória coletiva brasileira.

Com mais de três décadas de atuação no campo patrimonial, o arquiteto e urbanista Marcelo Brito, que atuou no Iphan de 1987 a 2022, iniciou sua trajetória na administração municipal na década de 1980. Após o reconhecimento da cidade de Olinda (PE) como patrimônio mundial pela Unesco, em 1982, ele participou do desenvolvimento de um projeto que buscou articular a revitalização do centro histórico e garantir a presença de moradores locais na região, não apenas fomentando seu potencial turístico. Além de reconhecer avanços na ampliação do conceito de patrimônio cultural, Brito destaca que a política patrimonial brasileira teve papel decisivo na preservação de

monumentos e centros históricos ameaçados, como ocorreu em Olinda. “Se não fosse por ela, provavelmente teríamos perdido muitos desses bens”, comenta o pesquisador, que também assina um capítulo do *Atlas*.

O historiador Raul Lanari, da Universidade Federal de Goiás (UFG), explica que o patrimônio material costuma ser associado à preservação da originalidade, enquanto o imaterial reconhece o dinamismo da cultura. Em festas religiosas, por exemplo, a substituição de lamparinas por iluminação elétrica não significa perda de autenticidade, mas sim uma adaptação ao mundo contemporâneo.

“Querer reproduzir exatamente uma prática como ocorria no século XIX é uma forma de fetichizar o passado”, analisa. Nesse sentido, ele cita as cavalgadas rurais, reconhecidas como patrimônio cultural imaterial e histórico em diversas regiões do Brasil desde os anos 2000. “Muitas passaram a contar com a presença de motocicletas ao lado de cavalos, refletindo mudanças em padrões de consumo e no acesso a crédito no campo. A cultura se transforma junto com a vida social”, reforça Lanari, outro coautor do *Atlas*.

O pesquisador lembra que essa mudança de entendimento permitiu reinterpretar manifestações historicamente marginalizadas, como a

capoeira, criminalizada durante décadas e reconhecida, em 2014, como Patrimônio Cultural Imaterial da Humanidade pela Unesco. De acordo com Lanari, processo semelhante ocorreu, de forma mais lenta, com religiões de matriz africana. Os primeiros terreiros começaram a ser tombados apenas na década de 1980, após décadas de políticas patrimoniais voltadas a referências europeias.

O tombamento é um ato administrativo do Iphan, de estados ou municípios, que protege bens materiais de valor histórico, cultural, arquitetônico ou paisagístico. A medida impede a destruição ou descaracterização de imóveis, monumentos e objetos, com a finalidade de preservar a memória coletiva (*ver glossário na página 14*). O museólogo Saulo Moreno Rocha, do Museu de Arte da Universidade Federal do Ceará (UFC), considera que um marco desse processo foi o tombamento do terreiro da Casa Branca, em Salvador, o primeiro terreiro de candomblé reconhecido oficialmente como patrimônio no país, em 1981. Em um primeiro momento, a decisão gerou controvérsias por romper com a tradição de valorizar somente projetos arquitetônicos, especialmente igrejas coloniais.

Como desdobramento desse cenário, Mene-guello observa que, nos últimos 15 anos, novas categorias entraram no debate. Entre elas, a *dark heritage*, ou patrimônio difícil, expressão usada para designar lugares associados a experiências traumáticas, como prisões, manicômios, leprosários, espaços ligados à escravidão e centros de repressão de ditaduras militares. “São lugares que, muitas vezes, têm pouca relevância arquitetônica. O que importa é o que aconteceu ali”, justifica.



Remanescentes humanos são entendidos como patrimônio sensível e não mais como objetos científicos

Na cidade de São Paulo, o Destacamento de Operações de Informação – Centro de Operações de Defesa Interna (DOI-Codi) foi tombado pelo Conselho de Defesa do Patrimônio Histórico Arqueológico, Artístico e Turístico (Condephaat) do estado de São Paulo, em 2014. Trata-se do principal órgão de repressão, tortura e assassinato da ditadura militar brasileira no estado, ativo entre 1969 e 1983. Já o antigo prédio do Departamento de Ordem Política e Social (Dops), no centro do Rio de Janeiro, tornou-se patrimônio federal em 2025.

Em sentido oposto, a historiadora lembra do episódio da Casa de Detenção

de São Paulo, conhecida como Carandiru, implodida após o massacre de presidiários pela Polícia Militar, ocorrido em 1992. “O apagamento desses lugares também é uma forma de política pública”, contrapõe Meneguello, que, ao lado da historiadora Aline Carvalho, da Unicamp, organizou o *Dicionário temático de patrimônio: Debates contemporâneos* (Editora da Unicamp, 2020). A obra reúne verbetes sobre patrimônio material, imaterial, arqueológico, turístico, industrial, funerário, indígena, LGBTQ+ e os chamados patrimônios difíceis.

Em sua pesquisa de livre-docência, concluída em 2024, Meneguello investigou um caso emblemático de disputa entre memória e apagamento: o antigo supermercado Ycuá Bolaños, em Assunção, no Paraguai. Em agosto de 2004, um incêndio no local matou mais de 400 pessoas, a maioria mulheres e crianças, após o proprietário ordenar o fechamento das portas para impedir que clientes saíssem sem pagar. O episódio é considerado a maior tragédia civil do país desde a Guerra do Paraguai (1864-1870). “Familiares das vítimas e movimentos sociais lutaram para impedir que o local fosse convertido em empreendimento comercial e defenderam sua transformação no Memorial 1-A, inaugurado em 2022”, explica a pesquisadora.

Outro campo em expansão é o do patrimônio industrial, que abarca edificações como o Sesc Pompeia, em São Paulo, e a antiga fábrica da Olivetti, em Guarulhos (SP). Na Europa, o debate sobre o reconhecimento de fábricas e ferrovias começou nos anos 1970, mas no Brasil ganhou força apenas a partir dos anos 2000. “Aqui, edifícios industriais costumam ser vistos como estorvo

ou algo a ser demolido”, afirma Meneguello, uma das coautoras do *Atlas*. A fábrica de biscoitos Duchén, às margens da rodovia Presidente Dutra, em Guarulhos (SP), ilustra esse problema. Fundada em 1903, a empresa transferiu sua produção para uma nova unidade nos anos 1950, projetada pelo arquiteto Oscar Niemeyer (1908-2012). O edifício original, longo, estreito e sinuoso, foi premiado na 1ª Bienal de Arquitetura de São Paulo, em 1951, na categoria Construção Industrial.

A

pós o fechamento da fábrica, na década de 1980, o imóvel acabou sendo abandonado e, mesmo em processo de tombamento pelo Condephaat de São Paulo, terminou demolido. Assim, não restaram vestígios da única obra industrial de Niemeyer. “O próprio arquiteto foi contra o tombamento do edifício, por não considerá-lo um patrimônio a ser preservado”, conta a historiadora.

Na perspectiva de Meneguello, a preservação de fábricas não se limita à compreensão dos sistemas produtivos do passado, mas envolve também a salvaguarda da história social do trabalho no país. “Esses espaços guardam memórias de greves e formas de organização operária. Isso se torna ainda mais importante no contexto atual de precarização do trabalho”, defende.

Em relação aos patrimônios difíceis, um caso ganhou repercussão internacional em 2022, por meio do jornal estudantil *The Harvard Crimson*, editado por alunos da Universidade Harvard, nos Estados Unidos. A publicação vazou partes do “Relatório do comitê diretor sobre restos humanos nas coleções dos museus da Universidade Harvard”, que tornou pública a existência do crânio de um indivíduo malê mantido nas coleções da instituição. O documento teve como objetivo examinar criticamente o legado da escravidão e do colonialismo, investigando a procedência de 22 mil conjuntos de remanescentes humanos sob custódia da universidade.

Segundo o relatório, o indivíduo foi ferido durante a Revolta dos Malês, levante organizado por africanos muçulmanos escravizados e libertos em Salvador, em 1835 (*ver Pesquisa FAPESP nº 357*), e morreu posteriormente em um hospital da cidade. Em 1847, seus restos cranianos foram enviados por um diplomata norte-americano para a coleção da Sociedade de Boston para o Aperfeiçoamento Médico, nos Estados Unidos. Mais tarde, em 1889, passaram a integrar o Museu

Antiga fábrica da Olivetti (*no alto*), em Guarulhos, e Sesc Pompeia, em São Paulo: preservação de memórias do mundo do trabalho

Anatômico Warren e, em 1959, seguiram para o Museu Peabody, ligado à Harvard e localizado na cidade de Cambridge. “O relatório evidenciou o envolvimento histórico da universidade com práticas associadas ao racismo científico”, afirma a socióloga Hannah Romã Bellini Sarno, que fez pós-doutorado na Universidade Federal da Bahia (UFBA), concluído em 2023. Estudiosa da presença do islã no estado, ela integra o grupo de pesquisadores e representantes da comunidade islâmica do estado que reivindica a repatriação do crânio.

Sarno explica que, na época da Revolta dos Malês, cerca de 20% dos africanos escravizados em Salvador eram muçulmanos. Após a repressão e perseguição que se seguiram à rebelião, a presença islâmica praticamente desapareceu da cidade. Esse quadro começou a mudar apenas em 1993, com a fundação do Centro Cultural Islâmico da Bahia, liderado por um muçulmano nigeriano que imigrou ao Brasil. Nesse contexto, o processo de repatriação do crânio adquire um novo significado. “Esse tipo de material era tratado como objeto da ciência. Hoje, há uma mudança de paradigma: passa a ser reconhecido como restos de uma pessoa falecida que precisa passar por ritos funerários de acordo com os costumes de sua comunidade”, observa a socióloga.

O debate contemporâneo incorpora memórias e violências antes excluídas das narrativas oficiais

O historiador Bruno R. Véras, professor na Universidade de Toronto, no Canadá, explica que, durante o século XIX e parte do XX, remanescentes humanos foram compreendidos como material anatômico ou evidência racial. Essa lógica começou a ser questionada na segunda metade do século XX, impulsionada por debates sobre direitos humanos, memória e reparação histórica. Um marco desse processo foi a aprovação nos Estados Unidos, em 1990, de uma lei que estabeleceu regras para a devolução de restos humanos, objetos funerários e itens sagrados de povos indígenas. Paralelamente, códigos de ética estabelecidos pelo Conselho Internacional de Museus (Icom) passaram a exigir a consulta às comunidades de origem sobre a guarda e o destino desses materiais. “Hoje, remanescentes humanos são entendidos como patrimônio sensível”, afirma Véras, que integra o grupo mobilizado pela repatriação.

Para o pesquisador, o caso do crânio malê é exemplar para mostrar como práticas museológicas vêm sendo revistas nas últimas décadas. “Em vez de a universidade estrangeira decidir sozinha, o processo passa a ser orientado pela comunidade historicamente vinculada a esses remanescentes”, detalha. Ao mesmo tempo, ele avalia que museus universitários ainda reproduzem estruturas coloniais ao manter controle exclusivo sobre acervos humanos e tratar a devolução como exceção. “Durante muito tempo, o valor científico serviu para encobrir a forma como esses corpos foram obtidos”, observa.

De acordo com Sarno, o caso reflete transformações no campo do patrimônio impulsionadas nos anos 1990 sobretudo pela participação de comunidades indígenas em debates museológicos realizados em países como Estados Unidos, Canadá e Austrália. A partir de então, esses grupos passaram a questionar a exposição de restos humanos em museus e reivindicar maior participação nas decisões sobre seus destinos. Para a socióloga, a repatriação do crânio malê possui um significado que ultrapassa a dimensão religiosa. “Ela mobiliza não apenas a comunidade islâmica, mas também a população negra em geral, ao recolocar em evidência uma herança que foi apagada”, afirma.

A mobilização pela repatriação do crânio malê ganhou dimensão institucional em 2024, quando o governo do Brasil integrou as negociações com Harvard. A expectativa é de que a peça retorne ao país ainda neste ano. Para um diplomata brasileiro entrevistado para esta reportagem que pediu para não ser identificado, o cenário internacional atual é favorável ao debate sobre a repatriação de objetos e remanescentes humanos. Ainda assim, o país enfrenta desafios estruturais. Um deles é a ausência de mapeamento sistemático de bens culturais mantidos no exterior. “É impossível mapear



Axé Ilê Obá, primeiro terreiro de candomblé tombado em São Paulo, e Ecomuseu Morro da Queimada, em Ouro Preto (MG)

tudo o que saiu do país”, reforça o diplomata. A discussão sobre o retorno de bens extraviados se dá, também, em relação a peças indígenas, como foi o caso do Manto Tupinambá, devolvido ao Brasil em 2024 pelo Museu Nacional da Dinamarca.

Além da dimensão do problema, há divergências sobre o que deve de fato ser repatriado. “Nem tudo precisa necessariamente ser trazido de volta. Em alguns casos, pode ser importante que peças brasileiras estejam em museus estrangeiros, desde que se saiba como estão sendo expostas e haja consentimento das comunidades envolvidas”, defende. Para lidar com essas questões, o governo federal está estruturando um comitê interministerial, ainda em fase de consolidação, que deverá estabelecer critérios sobre o que solicitar, em que circunstâncias e de que maneira

A redefinição do conceito de patrimônio também tem ampliado o reconhecimento de novos objetos e práticas culturais. O museólogo Carlos Jotta, da UFG, lembra que coleções e peças museológicas deixaram de ter sentidos fixos, passando a ser entendidas a partir dos usos e significados atribuídos pelas comunidades. Como desdobramento desse movimento especialmente na última década, foram criados os chamados ecomuseus, modelo museológico centrado no território, na

comunidade e em seu patrimônio cultural e natural, em que os moradores assumem papel ativo na gestão e preservação do ambiente. “Ao contrário de museus tradicionais, eles não se limitam a coleções fechadas, mas interpretam o local onde estão inseridos. Podem abranger os registros de uma comunidade inteira ou se dedicar à preservação de um saber específico”, esclarece o pesquisador.

Exemplo de instituições com essa proposta é o Ecomuseu do Quarteirão Cultural do Matadouro de Santa Cruz, que abrange o bairro de Santa Cruz, na zona oeste do Rio de Janeiro, em uma área de 125 quilômetros quadrados. Criado em 1995 e vinculado à Secretaria Municipal de Cultura, o espaço tem como objetivo central preservar e valorizar o patrimônio cultural e natural da região. Já em Ouro Preto (MG), o Ecomuseu Morro da Queimada foi instituído em 2014. Instalado em um sítio arqueológico e comunitário, busca preservar vestígios dos primórdios da mineração no século XVIII, incluindo fornos e ruínas de moradias.

Para o físico Diego Vaz Bevilaqua, da Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz) e presidente do Icom Brasil, consolidou-se nos últimos anos a percepção de que o patrimônio é resultado de escolhas sociais e não deve funcionar apenas como instrumento de celebração. “O patrimônio cultural tornou-se um campo menos estável, mais plural e conflitivo. Já não se limita a conservar objetos do passado, mas envolve disputas sobre quem tem direito à memória e quais histórias devem ser contadas”, sintetiza o pesquisador. ●

Os artigos científicos, os livros e o relatório consultados para esta reportagem estão listados na versão on-line.

O químico nanotecnológico

Com vasta carreira, cientista da USP destacou-se pelos trabalhos em escala nanométrica e na área de divulgação científica

YURI VASCONCELOS

É uma rotina que se repete há anos. Após praticar em casa tai chi chuan, o químico Henrique Eisi Toma caminha por uma hora dentro da Cidade Universitária no bairro do Butantã até chegar ao Instituto de Química da Universidade de São Paulo (IQ-USP). Professor sênior da instituição e aposentado compulsoriamente em 2024, Toma, de 78 anos, continua produtivo e atuante. “Movido pelo espírito científico e sem os contratempos da vida acadêmica, deixo fluir minha liberdade de criação”, contou a *Pesquisa FAPESP*.

A vida acadêmica foi iniciada há 54 anos, quando, ainda no doutorado sob orientação de um pesquisador norte-americano que ganharia anos depois o Nobel de Química, foi convidado a lecionar no IQ-USP. Depois de dois estágios de pós-doutorado cursados nos Estados Unidos, retornou ao Brasil em 1980 com uma nova visão da ciência e um interesse pela química bioinorgânica, que evoluiu naturalmente para a química supramolecular e, posteriormente, para a nanotecnologia molecular.

O envolvimento com a nanotecnologia fez com que passasse a estudar as nanopartículas inteligentes, estruturas dotadas de novas funcionalidades químicas ou físicas, por meio da adição de moléculas específicas em sua superfície. Uma dessas nanopartículas, as superparamagnéticas, foi a base para a criação de uma nova tecnologia mineral, a nano-hidrometalurgia magnética. “Em laboratório, o processo de separação das terras-raras utilizando essa metodologia já está demonstrado”, assegura.

A divulgação científica é outra área de interesse de Toma. “Tenho vasta produção sobre nanotecnologia e química bioinorgânica voltada ao público geral. São centenas de depoimentos e reportagens para jornais e revistas e 18 livros”, conta. “Pena que os trabalhos de divulgação não sejam devidamente valorizados na academia.”

O pesquisador é casado com a ginecologista Cristiana e tem dois filhos, o também médico Henry, 36, e o biólogo Gustavo, 26. No ano passado, Toma tornou-se professor emérito do IQ-USP.

ESPECIALIDADE

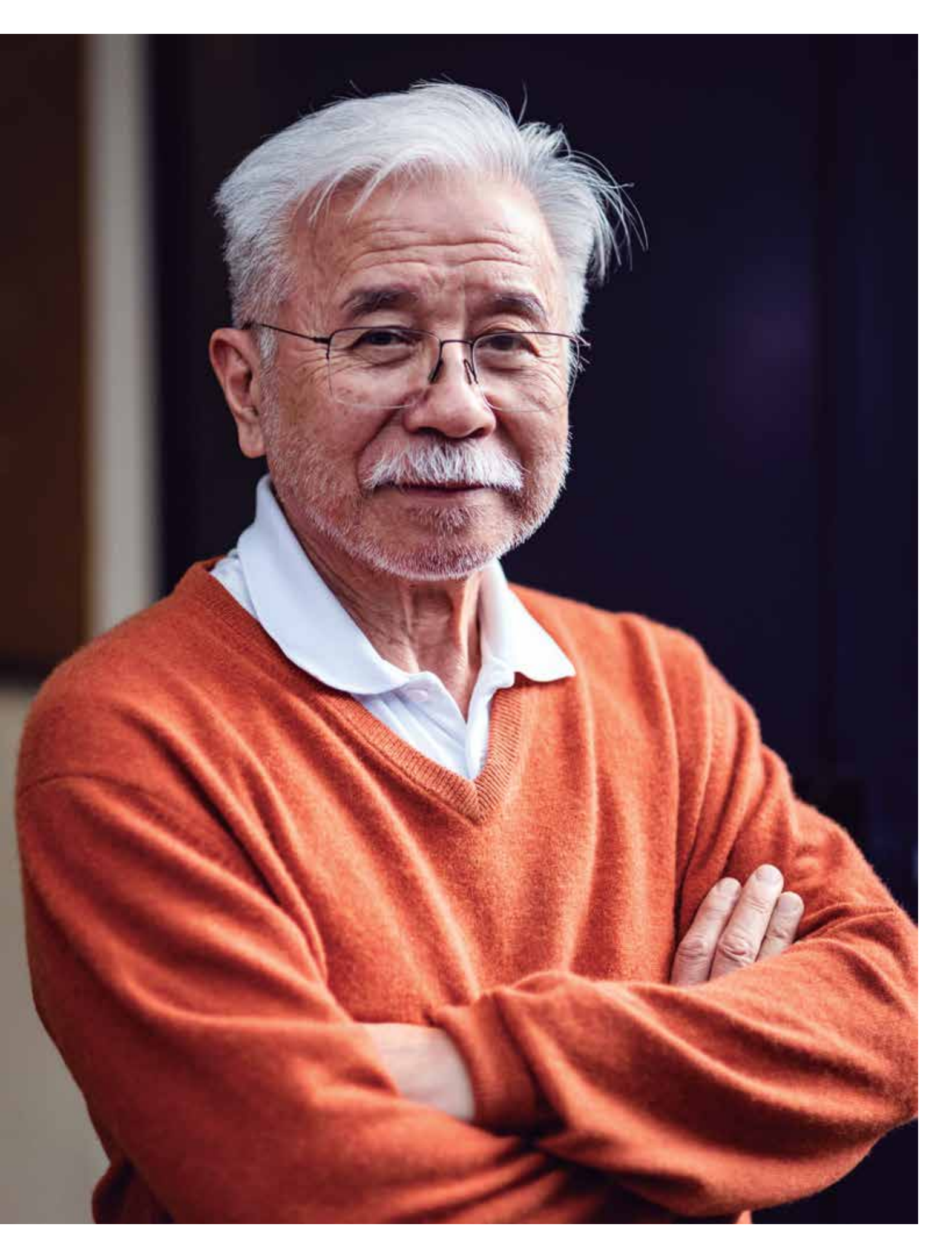
Química, nanotecnologia

INSTITUIÇÃO

Universidade de São Paulo (USP)

FORMAÇÃO

Graduação (1970) e doutorado (1976) pela USP



Como a química entrou na sua vida?

Minha história e vivência na química é antiga e se aproxima dos 60 anos. Venho de uma família de classe média e lembro que meu pai precisava sustentar nove pessoas, incluindo cinco filhos, a esposa e meus avós. Em 1962, eles decidiram se mudar de Rio Claro [SP] para São Paulo, buscando um futuro melhor para os filhos, já em idade de cursar a universidade. Na capital, meus irmãos conseguiram emprego rapidamente e seguiu o exemplo deles, embora tivesse apenas 13 anos. Minha primeira tentativa foi trabalhar como *office boy* em uma empresa têxtil. Logo viram que eu tinha habilidades extras. Dominava a técnica de soroban, em um tempo que não havia calculadoras elétricas ou eletrônicas. Fui realocado no setor de crédito e cobranças. O soroban, uma espécie de ábaco, superava com folga as calculadoras mecânicas, barulhentas, da época. Passei minha adolescência trabalhando de dia e estudando à noite, no Colégio Estadual de São Paulo, a melhor escola da cidade. Naquela época, meados dos anos 1960, pairavam no ar as promessas de instalação da indústria petroquímica no país. A química era vista como uma área promissora, mas só havia um curso superior, oferecido pela USP. Fiz o vestibular e obtive a primeira colocação. Abracei a química com convicção.

Como iniciou sua carreira profissional?

Minha vida acadêmica começou em 1972, quando fui contratado como professor assistente no IQ-USP. Na época, cursava o doutorado no Programa NAS/CNPq [Programa Nacional de Assistência às Universidades do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico], um marco na ciência brasileira. Concebido pela Academia de Ciências dos Estados Unidos e pelo CNPq, representou uma quebra de paradigma na pós-graduação no Brasil.

Por quê?

Seu foco central era a internacionalização e envolvia a participação direta de renomados pesquisadores estrangeiros, principalmente norte-americanos, trabalhando em conjunto com professores brasileiros na USP e na UFRJ [Universidade Federal do Rio de Janeiro]. Buscava-se, dessa forma, criar um ambiente

para a pesquisa em que, além do contato com os docentes estrangeiros, era possível a importação rápida de reagentes e equipamentos – tudo custeado pelo programa. Também vieram equipamentos técnicos avançados, que me ajudaram na pós-graduação. Quando fui contratado pela USP, meu primeiro orientador, John Malin, após três anos no Brasil, estava retornando aos Estados Unidos em busca de uma colocação acadêmica. Assim, após 1972, passei a ser orientado pelo professor Henry Taube [1915-2005], da Universidade Stanford, que se desdobrou para oferecer o suporte necessário, realizando viagens periódicas ao Brasil para acompanhar e estimular o desenvolvimento do grupo. Nossos primeiros trabalhos, publicados naquele mesmo ano, tiveram grande impacto, ficando entre os 50 mais citados na literatura da área. O Programa NAS/CNPq provou que é possível produzir ciência de qualidade no país, desde que se forneça o devido apoio aos pesquisadores e às instituições.

Em que área da química se especializou?

Após o doutorado, com 25 anos, passei a ser responsável pelo grupo de pesquisa

no Instituto de Química, tornando-me orientador e professor na pós-graduação. Minha especialidade eram mecanismos de reações inorgânicas, área que consagrou Taube com o Prêmio Nobel de Química de 1983. Em 1976, com meu doutorado concluído, Taube me encaminhou para um estágio no Laboratório Nacional de Brookhaven, em Nova York. Fui trabalhar com técnicas de fotólise relâmpago e fotoquímica. Três anos depois, parti para um segundo estágio de pós-doutorado no Instituto de Tecnologia da Califórnia [Caltech] na área de química bioinorgânica, ramo que estuda o papel de elementos inorgânicos, como ferro e cobre, em sistemas biológicos. Minha pesquisa focou na transferência eletrônica biológica e visava entender os mecanismos de ação das enzimas na cadeia respiratória e na fotossíntese.

Como foi a volta ao Brasil?

Ao retornar ao país em 1980, trazia uma nova visão da ciência, incorporando a química bioinorgânica. Aprendi que a vida necessita de pelo menos 25 elementos químicos, dos quais 19 são tipicamente inorgânicos, ou seja, a maioria. Curiosamente, ninguém olha a vida pelo lado inorgânico, quando na realidade é o mais rico por lidar com todas as transformações que ocorrem nas células, como a cadeia respiratória e a fotossíntese. Embalado por esse sonho, passei a divulgar a química bioinorgânica no Brasil. A convite da OEA [Organização dos Estados Americanos], escrevi um livro de divulgação sobre química bioinorgânica. Essa publicação, de 1984, foi pioneira na América Latina.

Na USP, continuou as pesquisas nessa área?

Sim, mas não dispunha mais da infraestrutura para a extração e purificação de metaloenzimas que tinha no Caltech. Para prosseguir nesse campo, passei a investir na mimetização de biomoléculas por via sintética, focalizando os sítios ativos das enzimas. Passei a desenvolver técnicas de montagem molecular para gerar superestruturas funcionais, inspiradas nas enzimas. Isso lembrava um pouco os trabalhos com Lego, pois estava juntando as peças – ou moléculas – de forma criativa para chegar aonde desejava. Quando já estávamos avançados nas pesquisas, foi



O Programa NAS/CNPq provou que se pode produzir ciência de qualidade, desde que se forneça o devido apoio



Detalhe da tabela periódica criada por Toma e exposta no IQ-USP

anunciado o Prêmio Nobel do químico francês Jean-Marie Lehn, em 1987. Ele perseguia as mesmas abordagens que nós. Foi Lehn quem denominou essa área de química supramolecular – ou química além da molécula. Nessa década, nossos trabalhos sobre transferência eletrônica biológica e porfirinas supramoleculares tiveram bastante impacto, e me levaram a receber os prêmios Rheinboldt-Hauptmann, em 1987, e o de Química da TWAS [Academia Mundial de Ciências], em 1996. Também fui aceito como *fellow* da John Simon Guggenheim Memorial Foundation, nos Estados Unidos, em 1999.

Qual a importância da química supramolecular?

É o melhor caminho para chegar às moléculas inteligentes, como as que impulsionam a vida. Na biologia, ao contrário da química, as moléculas não atuam por meio de colisões caóticas. Elas estão inseridas em estruturas complexas organizadas, como as proteínas, nas quais podem interagir com múltiplos componentes, possibilitando o exercício de atividades complexas como reconhecimento molecular, aproveitamento de energia, sinalização, comunicação e amplificação. A química supramolecular já foi associada às máquinas moleculares por Fraser Stoddard [1942-2024], Bernard Feringa e Jean-Pierre Sauvage, laureados com o Nobel de 2016. Máquinas moleculares realmente existem e são elas que tornam possível a vida. Elas também alimentaram o sonho do engenheiro norte-americano Eric Drexler, autor da proposta de criação de máquinas moleculares capazes de construir tudo o que existe

no mundo. Foi Drexler quem vislumbrou um novo mundo: o mundo nanométrico, movido pela nanotecnologia.

Pode explicar melhor a relação entre química supramolecular e nanotecnologia?

Inspirada nas ideias de Drexler, a química supramolecular tornou-se passaporte para a nanotecnologia molecular, ou seja, para uma tecnologia capaz de operar na escala nanométrica, de um bilionésimo do metro. Essa é a dimensão dos átomos e moléculas. Desde 1981, os físicos Gerd Binnig e Heinrich Rohrer [1933-2013], da IBM, mostraram que é possível visualizar e lidar com objetos nanométricos, como átomos e moléculas, por meio dos microscópios de força atômica e de tunelamento. Foi o primeiro passo para o desenvolvimento da nanotecnologia. No Brasil, em 2004, o [então] Ministério da Ciência e Tecnologia financiou uma missão de visita a centros de nanotecnologia na Europa, coordenada pelo físico Cylon Gonçalves da Silva, da qual participei. No retorno, escrevi um longo relato, deixando sugestões para a implementação de programas nacionais de nanotecnologia. A pedido do ministério, também escrevi um livro de divulgação intitulado *O mundo nanométrico: A dimensão do novo século* [Editora Oficina dos Textos]. Esse livro ajudou na aproximação das comunidades acadêmica e empresarial da nanotecnologia.

O que o atraiu na nanotecnologia?

O envolvimento com a nanotecnologia fez com que me interessasse pelas nanopartículas, pois representam os nanomateriais genuínos que têm chamado a aten-

ção de todo o mundo. As nanoestruturas de carbono, como fulereno, grafeno e *quantum dots* , conduziram a três prêmios Nobel. São avanços que têm impactado a tecnologia moderna, principalmente a eletrônica. Mas isso é apenas a ponta do iceberg, pois, além das propriedades eletrônicas, as nanopartículas podem apresentar propriedades multivariadas, como superparamagnetismo, plasmônica e fotônica, sem falar no comportamento químico extremamente rico para exploração em catálise. Entretanto, o que mais me tem motivado é a possibilidade de acoplar moléculas à sua superfície, permitindo explorar uma nova química em um ambiente conjugado às nanopartículas. Esse é o meu interesse principal no momento. Nessa nova abordagem, a nanopartícula passa a atuar como centro de organização, conjugando moléculas ou biomoléculas, abrindo a possibilidade de exploração das interações entre elas. Tenho dito sempre que as moléculas podem tornar as nanopartículas inteligentes, repetindo o mesmo refrão usado na química supramolecular. Por isso, passei a adotar o jargão nanotecnologia supramolecular.

Do que exatamente se trata?

A nanotecnologia supramolecular relaciona-se à criação de nanopartículas inteligentes, dotadas de novas funcionalidades químicas ou físicas, por meio de moléculas específicas colocadas em sua superfície. Há um tipo especial de nanopartículas, chamadas plasmônicas, que ocorrem com metais do tipo cobre, prata e ouro. Nelas, os elétrons oscilam sob a ação das radiações eletromagnéticas, dando origem às ondas plasmônicas, ou plásmos de superfície. Para entender o que é isso, veja o que acontece quando duas uvas são colocadas em contato num micro-ondas. As ondas eletromagnéticas geradas no aparelho produzem campos intensos que provocam descargas elétricas na região de contato. O mesmo acontece quando os elétrons nas nanopartículas são submetidos a um feixe de luz visível. O campo elétrico gerado na confluência de duas nanopartículas é chamado de *hot spot* e apresenta intensidades aumentadas. Dessa forma, as moléculas próximas a essa região sofrem o efeito desse campo, espalhando fortemente os fótons que incidem sobre

elas. Esse espalhamento intenso de luz é conhecido como espalhamento Raman intensificado pelos plásmos de superfície [SERS]. Ele permite efetuar com extrema sensibilidade a análise química das moléculas na superfície de um material. Por isso, as nanopartículas plasmônicas estão sendo usadas como sensores SERS ou espalhadores de luz em dispositivos fotônicos.

Há outras nanopartículas inteligentes?

Sim, as superparamagnéticas, geralmente formadas por óxidos de ferro, como a magnetita. Elas despertam interesse por serem fortemente atraídas pelos ímãs. Incorporando moléculas ou biomoléculas na superfície, essa partícula pode realizar o transporte magnético, conduzindo-as ao local de interesse. Se a molécula for um fármaco, a partícula poderá ser usada para dirigir o medicamento até o local ou órgão de interesse, realizando seu confinamento por meio de um ímã, de forma a concentrar a ação medicinal. Da mesma forma, podemos colocar enzimas nas nanopartículas magnéticas para realizar biocatálise, com possibilidade de recuperar as enzimas utilizadas no processo, pela aplicação de um ímã, para posterior reúso. Como as enzimas representam a parte mais dispendiosa do processo, as vantagens da reciclabilidade são imensas. Temos trabalhado ativamente nessa área. Existe grande interesse por um tipo especial de molécula, chamado complexante, que é capaz de interagir com elementos metálicos, permitindo realizar sua extração no meio fluido. Esse processo pode ser usado na separação dos elementos químicos e em seu processamento para obter o metal puro. Ele é chamado nano-hidrometalurgia magnética, técnica criada pelo nosso grupo para atuar na mineração e metalurgia.

Quais as aplicações da nano-hidrometalurgia magnética?

Ela parte dos mesmos princípios usados na hidrometalurgia clássica, extraindo e processando os elementos metálicos por meio de agentes complexantes [substâncias químicas que formam complexos com íons, reduzindo sua atividade e aumentando a estabilidade de uma solução]. Porém a diferença é que esses agentes ficam ancorados nas nanopartículas

magnéticas, possibilitando sua fácil separação do meio fluido por meio de ímãs. Com isso, o processamento químico é simplificado e a separação clássica pode ser dispensada, tornando o processo mais limpo e ambientalmente correto. Os elementos metálicos capturados pelas nanopartículas podem ser liberados ao controlar a acidez do meio, permitindo sua separação química. Nesse processo, as nanopartículas magnéticas são regeneradas e podem retornar ao processo, estabelecendo um ciclo, considerado ideal em termos de sustentabilidade.

É, portanto, um processo verde.

Sim, ela tem vários atributos verde, pois atua em meio aquoso, em condições ambiente, sem o uso de solventes orgânicos e permite a reciclagem e reúso das nanopartículas complexantes. Além disso, possibilita o confinamento magnético das nanopartículas sobre a superfície de eletrodos para fazer a deposição eletrolítica dos metais até a forma elementar, representando uma economia de etapas, e minimiza ou simplifica as etapas de processamento usando praticamente o mesmo reator químico ao longo de todo o percurso. Por fim, dispensa o proces-

samento químico exaustivo tradicional com solventes e resinas, empregado na hidrometalurgia clássica, que, além de poluente, demanda recursos e equipamentos de alto custo e manutenção.

O método já é usado em escala industrial?

Eis um ponto importante. Como na maioria das inovações tecnológicas, o processo começa na escala de laboratório. Nesse sentido, a viabilidade da nano-hidrometalurgia magnética já foi demonstrada por numerosos trabalhos publicados em revistas e teses de doutorado. A etapa seguinte seria a operação em escala-piloto, o que requer quantidades maiores de reagentes e instalações adequadas, além de investimento. Não é uma etapa trivial e foge dos atributos típicos de uma instituição de ciência básica, como o Instituto de Química. Mesmo assim, já foram firmados convênios com empresas visando à síntese industrial de nanopartículas magnéticas de alta qualidade, em larga escala.

Quais os resultados alcançados com esse convênio?

Dois doutorandos foram contratados por uma empresa, a Metal-Chek, de São Paulo, porém com interesse voltado ao uso de nanopartículas magnéticas na detecção de fraturas em metais ferrosos. Eles desenvolveram um processo eficiente de produção industrial de nanopartículas magnéticas, capaz de produzir centenas de quilos, com baixo custo e excelente qualidade. A etapa seguinte seria a geração das nanopartículas complexantes em larga escala, mas isso não era do interesse da empresa. Enquanto isso, os trabalhos de melhoramento das nanopartículas complexantes continuam sendo conduzidos em nosso laboratório. A implementação de uma nova tecnologia na extração e separação mineral, como a nano-hidrometalurgia magnética, deve levar em conta que, nesse setor, as instalações são de grande porte e que a transição dos processos já em operação para uma nova alternativa não pode ser feita de uma hora para outra, sem levar em conta as questões econômicas e os interesses envolvidos. Porém torna-se necessário investir em projetos de longo prazo para desenvolver tecnologias alternativas, até chegar o momento em que elas se tornam viáveis.



A separação dos minerais terras-raras usando nano-hidrometalurgia magnética já está demonstrada

O método poderia ser usado no processamento das terras-raras?

Em escala de laboratório, onde o projeto foi concebido, a separação das terras-raras usando nano-hidrometalurgia magnética já está demonstrada e documentada em trabalhos publicados. Mesmo assim, não considero um assunto fechado, pois o objetivo das pesquisas é sempre buscar novos avanços e melhorias, como já está acontecendo. Assim, continuamos pesquisando novas partículas com agentes complexantes, voltadas para a separação das terras-raras, principalmente as presentes em argilas iônicas, que estão sendo descobertas no Brasil. Temos mais de 50 anos de experiência com elementos metálicos, além de capacidade de atuar na área de nanotecnologia, para tornar a nano-hidrometalurgia magnética possível.

Como é seu trabalho de divulgação científica?

Minha atividade nesse campo me acompanha desde o início de minha vida acadêmica, por meio de centenas de depoimentos e reportagens que tenho feito para jornais e revistas. É uma pena que os trabalhos de divulgação não sejam devidamente valorizados na academia. Também tenho atuado na história da ciência, focalizando principalmente biografias de cientistas relacionados com minhas atividades ou formação, e me enveredei pelo campo filosófico, como em um artigo publicado na *Revista USP* sobre o sentido do tempo na química. Tenho uma vasta produção sobre nanotecnologia e química bioinorgânica voltada ao público em geral. Talvez por causa do meu envolvimento na divulgação tornei-me tradutor associado à Editora Blucher até os anos 1990, com mais de uma dezena de textos didáticos de química e tecnologia. Depois desse percurso, o editor Edgard Blucher me convenceu a escrever os meus próprios livros. Foi assim que me tornei escritor, com 18 livros publicados.

O senhor também é um dos campeões de patentes da USP.

Apesar de ter mais de 30 patentes, não sou adepto disso. A produção de patentes é cobrada pelas agências de financiamento à pesquisa e, por isso, tenho procurado atender a esse quesito na medida do possível. Contudo, as patentes são muito onerosas e, embora possam dar algum



Apesar de ter mais de 30 patentes, não sou adepto disso. Elas são muito onerosas e nunca dão o retorno esperado

prestígio para os inventores, quase nunca dão o retorno esperado, pois as empresas sabem perfeitamente como contorná-las introduzindo pequenas mudanças e ajustes. Nosso projeto de nano-hidrometalurgia magnética, por exemplo, já está patenteado, mas oferece tantas combinações que sempre haverá uma empresa alegando tratar-se de algo diferente. Considero a patente ideal aquela que já envolve uma empresa interessada, que, além de arcar com os custos, fornece inclusive suporte internacional e interesse na sua implementação.

Alguém da família enveredou pelo campo da química?

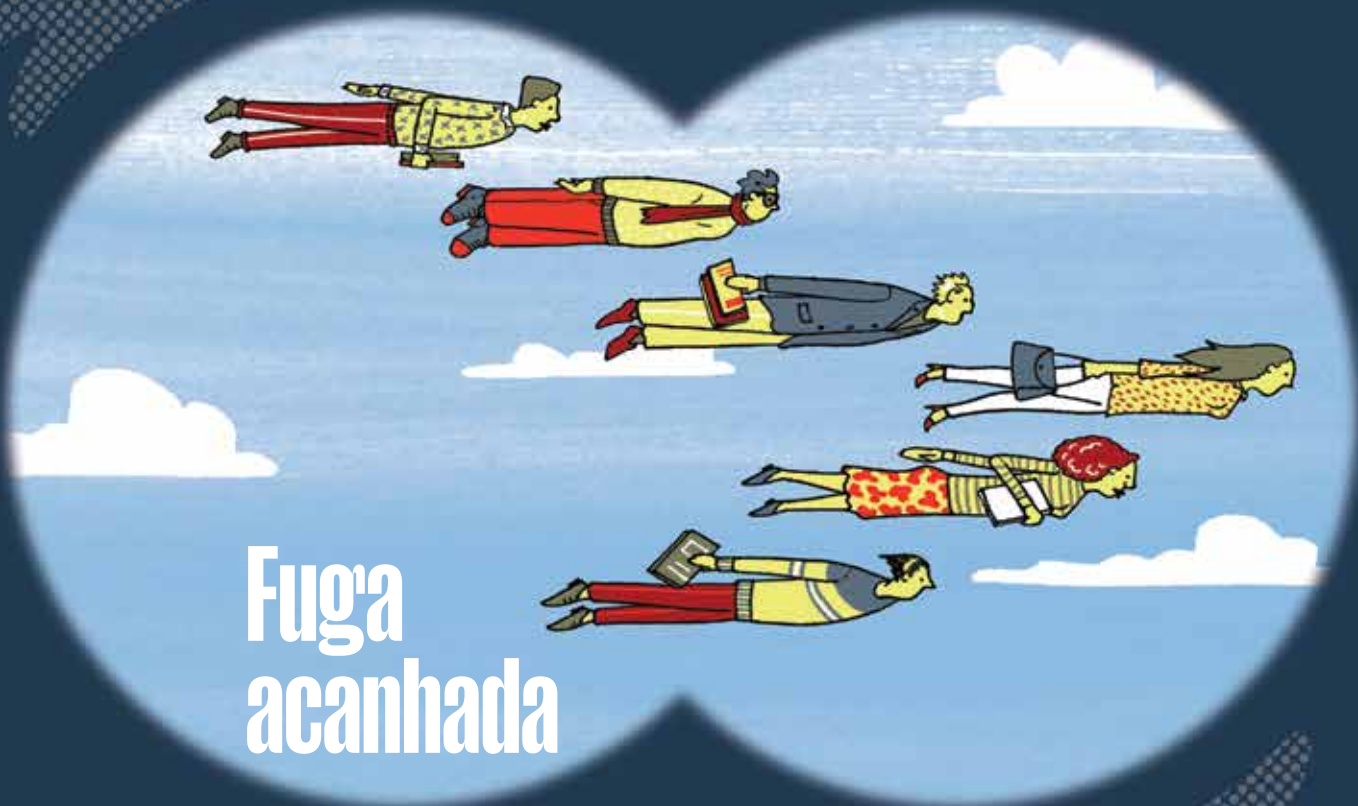
Sou casado há 38 anos com a Cristiana Sato Toma, médica ginecologista. Meu filho mais velho, Henry, de 36 anos, é cardiologista. O mais jovem, Gustavo, 26, é biólogo e está concluindo o doutorado em genética. O mais velho recebeu seu nome em homenagem ao professor Henry Taube. Mas minha estratégia não colou. Ele preferiu seguir o exemplo da mãe e ir para a medicina. O mais jovem optou pela carreira científica e está fazendo bons progressos.

O que faz nas horas vagas?

Mudei completamente a minha maneira de ser depois que conheci o professor Henry Taube, nos anos 1970. Até então, meu foco estava nos estudos e no trabalho. Lembro-me perfeitamente das horas que Taube passava examinando algum mineral exposto nas feiras semanais da praça da República, na capital paulista, ou os vidros e objetos antigos expostos na feira de antiguidades do Masp [Museu de Arte de São Paulo]. Ele enxergava coisas que eu não via, imaginando as interações eletrônicas que davam origem à cor das pedras preciosas, analisando o estilo, a procedência e a idade dos objetos antigos, ou a cor e os indícios que revelavam qual tipo de pigmento e de técnica eram usados nas pinturas. Um dia, me disse: “Você só conseguirá apreciar o que está vendo quando entender o que significa. Isso precisa do conhecimento. Sem isso, você jamais irá apreciar de verdade o que enxerga, até a própria natureza, arte e as belezas do mundo”. Depois disso, abri minha mente para o mundo e passei a me interessar por quase tudo, desde filosofia, natureza, arte, história e música. Já estudei um pouco de violão clássico e agora estou estudando piano, como autodidata. Mas sou péssimo nisso. É questão de vocação. Tenho viajado bastante, e a busca por novos conhecimentos e culturas tem sido importante em minha vida.

O que ainda gostaria de realizar como pesquisador?

Tenho 58 anos de magistério, sendo 54 anos na USP. Nesse período, publiquei 470 artigos, orientei 80 teses e dissertações e devo ter proferido mais de 500 palestras. Obtive mais reconhecimento do que mereço. Mesmo depois da aposentadoria compulsória, continuo ativo desfrutando diariamente do trabalho e do ensino, depois de praticar tai chi em casa e caminhar por uma hora no *campus* da Cidade Universitária. Hoje me sinto mais produtivo, sem os contratemplos da vida acadêmica, só movido pelo espírito científico. Deixo fluir minha liberdade de criação. Continuo proferindo palestras em congressos nacionais e no exterior. Sou professor sênior da USP e recentemente recebi o honroso título de professor emérito do IQ, o que me deixou muito feliz. ●



Fuga acanhada

Estudo do Ipea aponta que só 1,2% dos doutores que se formaram no Brasil entre 2013 e 2024 morava fora do país em 2025

SARAH SCHMIDT — ilustração DANIEL ALMEIDA

Apenas 1,2% de 254,9 mil doutores formados em instituições brasileiras entre 2013 e 2024 tinha residência fora do Brasil declarada em março de 2025, segundo uma análise do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea) divulgada em maio.

Os dados indicam que o temor de uma fuga de cérebros, como é chamada a perda de pessoal com alta qualificação para países com boas oportunidades de trabalho e melhores condições de vida, não encontra respaldo nas estatísticas, ao menos no recorte que observa as pessoas que concluíram doutorado no país.

O estudo revela que, entre os 3.145 doutores titulados no Brasil que emigraram, 20% foram para os Estados Unidos, 8,9% para a Colômbia, 7,9% para a Alemanha, 7,7% para o Canadá e 5,4% para a França. Quase um terço deles (972) era de estrangeiros que vieram fazer sua formação no Brasil e, desses, 904 representam casos de imigração de retorno, ou seja, pessoas que voltaram para o país de origem. Entre eles, a maioria veio da Colômbia (29,84%), seguido do Peru (9,57%) e de Moçambique (9,26%).

“Um problema crônico das análises sobre fuga de cérebros é a falta de dados sobre o volume e o perfil dessas pessoas”, explica o economista e coordena-

dor de métodos e dados do Ipea, Daniel Gama e Colombo, autor do estudo, publicado no boletim *Radar*. A análise levantou os nomes dos doutores titulados nos últimos 10 anos no país em uma base de dados da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e verificou os locais onde residem por meio do Cadastro de Pessoas Físicas (CPF) da Receita Federal. “Esses dados indicam que o país apresenta uma taxa de fuga de cérebros baixa, o que pode sinalizar que o investimento feito na formação desses profissionais permanece beneficiando principalmente a sociedade e a economia do país”, destaca Colombo.

Segundo o estudo, outros países têm taxas de emigração de doutores bem superiores – cerca de 13,4% nos Estados Unidos, mais de 20% na Suíça e em torno de 8% no Reino Unido. Colombo aponta que é difícil fazer uma comparação direta, uma vez que os países utilizam métodos de coleta de informações diferentes. Além disso, a circulação de profissionais altamente qualificados nesses países do Norte global é frequente – entre nações da União Europeia, por exemplo, é bastante comum. “Esse movimento é facilitado por acordos que simplificam questões burocráticas, pela reputação internacional das universidades e pelo peso do diploma obtido nessas instituições”, observa Colombo.

O economista usou como recorte os pesquisadores que se formaram em universidades brasileiras com o intuito de avaliar o retorno ou a perda do investimento público que o país fez na formação dessas pessoas. Colombo levanta a hipótese de que a taxa de emigração reduzida também pode indicar dificuldades de inserção internacional de parte dos doutores brasileiros. Um dos dados do estudo que reforça essa ideia é de que a taxa de emigração aumenta quanto mais alto for o conceito dos programas de pós-graduação que os doutores frequentaram (ver infográfico nesta página).

As áreas de ciência, tecnologia, engenharia e matemática (conhecidas em inglês como Stem) apresentam maior emigração em comparação às áreas de humanas e ciências sociais aplicadas. O perfil dos doutores que saíram do Brasil é

mais jovem e masculino do que o dos que permaneceram no país – a idade média foi de 39,8 anos, diante de 42,7 anos entre os residentes no território nacional. Já as mulheres representavam 54,7% dos doutores que permaneceram no Brasil, mas menos da metade (48,8%) dos que estavam no exterior.

DIÁSPORA

“O acesso aos microdados da Receita Federal é uma vantagem metodológica desse levantamento, permitindo cruzamentos com ocupação, sexo e escolaridade detalhados”, observa a socióloga Ana Maria Carneiro, do Núcleo de Estudos de Políticas Públicas da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), que não participou do estudo do Ipea. Carneiro, que fez em 2023 um levantamento para mapear a situação e as motivações de brasileiros altamente qualificados que estão no exterior, com apoio da FAPESP, avalia que o estudo de Colombo traz informações importantes ao levantar dados quantitativos sobre a saída de pesquisadores.

Ela questiona a opção metodológica de incluir no estudo todos os doutores formados no Brasil, independentemente da nacionalidade. Isso porque o recorte, embora seja válido para medir o retorno do investimento público, desconsidera nuances. “O fato de a Colômbia ser o segundo país de destino dos pesquisadores ilustra o papel do Brasil como centro periférico: o país manda estudantes para os países do Norte global e, ao mesmo tempo, recebe estudantes da América

Latina e da África e eles tendem a retornar aos seus países, o que não configura necessariamente fuga de cérebros”, destaca Carneiro.

O termo fuga de cérebros surgiu nos anos 1960 com conotação de perda associada à emigração de pessoas altamente qualificadas, mas estudos da área evoluíram para reconhecer que o fenômeno é mais complexo e multifacetado, capaz eventualmente de trazer compensações e benefícios para os países envolvidos (ver Pesquisa FAPESP nº 152) ao estabelecer pontes com grupos de pesquisa no exterior. O grupo do qual Carneiro faz parte, o Laboratório de Estudos sobre a Organização da Pesquisa e da Inovação (LabGeopi), da Unicamp, trabalha com a ideia de mobilidade, que não é necessariamente positiva nem negativa.

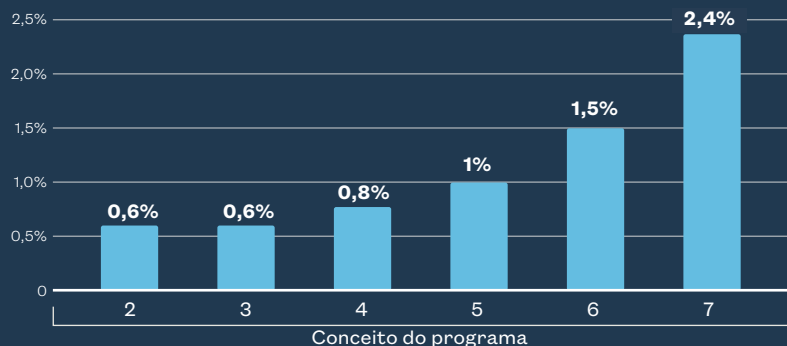
Com colegas do Geopi, Carneiro conduziu um estudo que avaliou a diáspora científica brasileira de maneira qualitativa e incluiu pessoas que emigraram antes mesmo do doutorado ou há muito mais tempo. O mapeamento levantou respostas de 1,2 mil pesquisadores em 42 países que estavam fora há pelo menos seis meses. A coleta de informações foi realizada por meio de um questionário on-line divulgado em redes de pesquisadores brasileiros no exterior com o apoio do Ministério das Relações Exteriores.

A média de idade dos participantes era de 37 anos. Mais de 70% informaram que não previam retornar ao país, índice que chegou a 90% entre os que tinham algum contrato permanente, como pesquisador ou professor. Desse contingente, menos da metade (45%) havia feito doutorado no Brasil. Os principais motivos declarados pelos pesquisadores para emigrarem foram: oferta de trabalho ou estágio de pós-doutorado; melhores condições de financiamento para pesquisa; bolsa contemplada no exterior; e a situação política do país.

Apesar da ausência de dados quantitativos consistentes sobre a emigração de pesquisadores altamente qualificados do país, o tema é objeto de preocupação e tem sido alvo de políticas públicas nos últimos anos. O físico e historiador da ciência Olival Freire Jr., presidente do

Emigração por nível de excelência

Proporção de doutores titulados no país entre 2013 e 2024 que tinham residência registrada no exterior em 2025, por conceito do programa de doutorado



FONTE COLOMBO, D. G. RADAR. ABR. 2026

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), lembra que, quando chegou ao órgão em 2023, então como diretor científico, não havia dados estatísticos confiáveis e atualizados sobre o fenômeno da emigração.

“Diante da falta de estudos robustos, por um lado, mas de muitos relatos de pesquisadores que reclamavam da perda de alunos para o exterior, ou de cientistas querendo retornar, decidimos nos movimentar”, conta Freire Jr. Segundo ele, dois alertas internos reforçaram a percepção do problema: o grande volume de processos de brasileiros com dívidas com o Estado por não cumprirem o período de retorno após o recebimento de bolsas das agências de fomento federais e a demanda cinco vezes maior do que a oferta em editais de pós-doutorado júnior, um indicativo de que esses doutores, com acesso limitado a oportunidades de trabalho no Brasil, poderiam ir buscá-las no exterior.

Freire Jr. explica que, para o CNPq, o conceito de diáspora científica engloba profissionais com doutorado que estejam em atividade científica relevante no exterior, seja em ambiente acadêmico ou em laboratórios de empresas. Não se enquadram nessa definição profissionais altamente qualificados que estejam no exte-

rior fora da carreira científica. A resposta do CNPq foi estruturada em três frentes dentro do programa Conhecimento Brasil, financiado pelo Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT). “Os editais tiveram alta demanda, o que nos mostrou que, de fato, havia um interesse da comunidade acadêmica”, observa.

A primeira foi a chamada de repatriação, de 2024, que ofereceu bolsas de R\$ 13 mil mensais, com duração de até cinco anos, para pesquisadores que estavam trabalhando no exterior ou que tinham concluído doutorado ou pós-doutorado fora a partir de 2019, podendo ou não serem residentes no país. Foram 1.593 candidatos e 599 bolsistas selecionados, oriundos de 34 países. A segunda ação foi o edital Apoio a Projetos em Rede, voltado a conectar pesquisadores no exterior que não queriam retornar a equipes de cientistas no Brasil. Essa chamada recebeu 980 propostas e selecionou 640. O terceiro e mais recente foi o edital Profix Brasil, lançado em 2025 e destinado a fixar talentos no país, com bolsas do mesmo valor do edital de repatriação e duração

de quatro anos. A seleção dos contemplados será feita nos próximos meses de maneira descentralizada com as 27 fundações estaduais de amparo à pesquisa, que receberam, ao todo, mil bolsas.

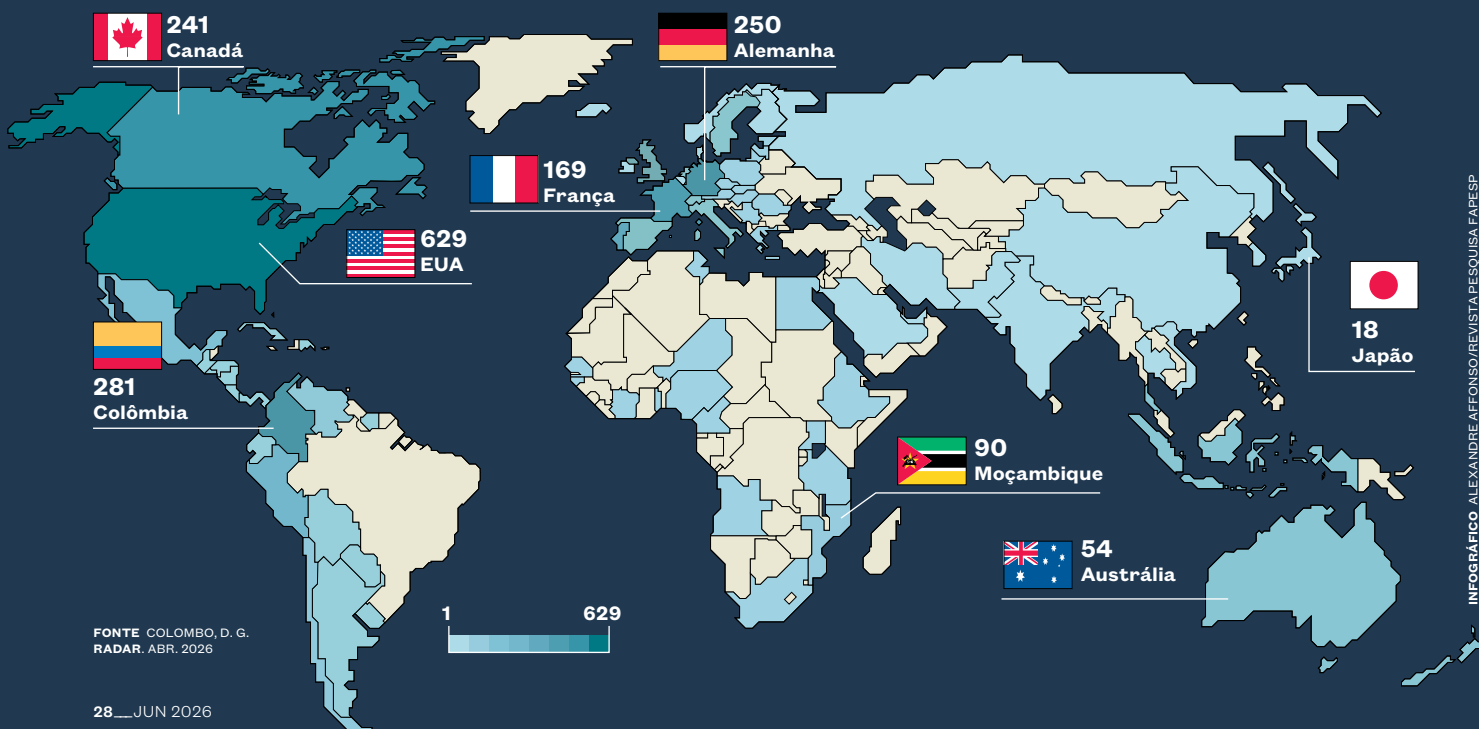
Freire Jr. também destaca que, em 2023, CNPq e Capes revisaram portarias sobre a chamada Política de Novação, que permite a ex-bolsistas substituírem a obrigação de retornar ao Brasil por outros encargos, como estabelecer atividades de colaboração científica com instituições brasileiras. “O impacto foi expressivo: fomos de cinco processos aprovados antes da portaria para mais de 100 aprovações em 2024 e 2025”, diz.

Carneiro, da Unicamp, avalia que, nos últimos anos, o lançamento desses programas e a revisão das portarias representam uma mudança de paradigma para o país, uma vez que a diáspora passa a ser vista como potencial positivo, rompendo com a lógica anterior de multas e obrigatoriedade de retorno sem muita negociação. No entanto, em sua avaliação, ainda há uma ênfase excessiva em repatriação. “Políticas internacionais bem-sucedidas têm focado mais em conexão, redes e mobilidade”, alerta. ●

O projeto e o artigo científico consultados para esta reportagem estão listados na versão on-line.

Pelo mundo

País de destino dos pesquisadores que concluíram o doutorado no Brasil entre 2013 e 2024, incluindo estrangeiros



Qualidade reconhecida

Pesquisa FAPESP conquista o Prêmio José Reis de 2026

Em maio, *Pesquisa FAPESP* foi reconhecida com a 46ª edição do Prêmio José Reis de Divulgação Científica e Tecnológica, o mais prestigiado do país, na categoria Instituição e Veículo de Comunicação. O vencedor na categoria Jornalista em Ciência e Tecnologia foi Bernardo Esteves, autor de livros e estudos acadêmicos nessa área e repórter da revista *piauí*. A revista competiu com outros 20 candidatos e Esteves com 24.

Promovido pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), o prêmio consiste em diploma, medalha e, para o jornalista, R\$ 20 mil. A cerimônia de premiação ocorrerá em julho durante a 78ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC), a ser realizada este ano em Niterói (RJ).

Em 2000, a FAPESP já havia ganhado o 20º Prêmio José Reis de Divulgação Científica, ao qual concorreram 34 candidatos, também na categoria Instituição e Veículo de Comunicação, em reconhecimento ao seu trabalho de divulgação científica, expresso pela revista. Em 2020, o editor de Ciências da Terra, Carlos Fioravanti, ganhou como Jornalista em Ciência e Tecnologia.

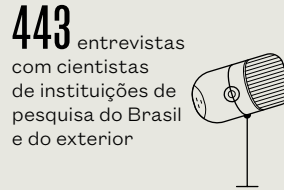
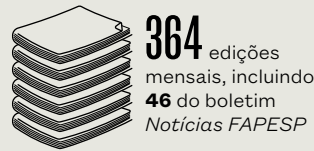
Durante seus 27 anos de existência, a revista e os jornalistas receberam por suas reportagens quatro prêmios internacionais e 33 nacionais. Reportagens de *Pesquisa FAPESP* conquistaram, em 2009, o Stop TB Partnership Award for Excellence in Reporting on Tuberculosis, promovido pela Organização Mundial da Saúde (OMS), e, em 2010, o primeiro lugar no Biodiversity Reporting Award – International Category, promovido pela Conservation International (CI). A revista ganhou 11 vezes as versões nacionais do prêmio da CI.

Pesquisa FAPESP foi lançada em outubro de 1999 com 44 páginas e tiragem de 22 mil exemplares. Nos anos seguintes o número de páginas foi para 100, com 28 mil exemplares. A cobertura, além dos projetos apoiados pela FAPESP, começou a incluir resultados de pesquisas feitas em outros estados.

Todo o material produzido pela publicação, desde o seu início, está disponível com acesso aberto em www.revistapesquisa.fapesp.br. Lá estão as edições regulares em português e também em inglês, espanhol e francês, suplementos especiais e todos os vídeos e podcasts produzidos.

Produção intensa

Em 27 anos, *Pesquisa FAPESP* publicou



APENAS EM 2025



As reportagens da revista tratam dos grandes problemas e expressam a diversidade da produção científica no país



A cópia ao alcance de todos

A inteligência artificial não está transformando estudantes em plagiadores, sugere levantamento

Apropriação indevida de ideias ou textos de terceiros sem a devida citação, o plágio é uma grave e comum violação da integridade científica. Com o aprimoramento das ferramentas de inteligência artificial (IA), paira a desconfiância de que a prática está ganhando fôlego na escrita acadêmica. Mas um levantamento feito com estudantes australianos indicou uma redução consistente de plágio nas últimas duas décadas, que se manteve mesmo após o advento da IA generativa.

Entre 2004 e 2024, pesquisadores aplicaram periodicamente um questionário a estudantes, a maioria deles de graduação, de diferentes cursos da Universidade do Oeste de Sydney (WSU), na Austrália. De forma anônima, os alunos respondiam a perguntas relacionadas a diferentes formas de plágio: falsa paráfrase (quando o autor troca algumas palavras de uma frase original por sinônimos,

mencionando a fonte), paráfrase ilícita (quando reescreve a ideia de outra pessoa com novas palavras, mas sem dar o devido crédito), reciclagem (reutilização de trechos de obras próprias), cópia literal (quando se reproduz o texto integralmente sem citação), *ghostwriting* (quando se paga para outra pessoa escrever um texto em seu nome) e roubo (quando alguém se apresenta como autor de um trabalho feito por outro pesquisador).

Para testar sua compreensão sobre o tema, os participantes tinham de dizer quais comportamentos, para eles, configuravam plágio e quais não. Também foram questionados sobre a frequência com que já haviam praticado tais violações. Com o avanço da IA generativa, em 2024 os responsáveis pelo levantamento acrescentaram uma pergunta sobre cópia literal de textos fornecidos por esse tipo de ferramenta. E, nesse mesmo ano, além da WSU, onde o estudo se desenrolou desde o início, foram incluídas outras cinco instituições de ensino australianas para comparação adicional.

Um gráfico mostrou que a porcentagem de estudantes que se envolveram em qualquer forma de plágio caiu a cada rodada da pesquisa, de 80,7% em 2004 para 59,6% em 2024. O delito mais cometido foi a falsa paráfrase (38,8%), seguida de perto pela paráfrase ilícita (38,3%). O roubo ficou em último lugar, com 1,3% da amostra assumindo que o praticou na vida acadêmica. Quanto ao uso de inteligência artificial, 14,2% dos alunos em 2024 indicaram já ter copiado um texto produzido por chatbots sem dar o devido crédito, mas a maioria deles também se envolveu em pelo menos uma outra forma de plágio que não implicou usar a ferramenta. A cópia literal por IA como única má conduta foi registrada entre apenas 2% dos alunos.

A conclusão principal da pesquisa é que a inteligência artificial, por si só, não está transformando estudantes em fraudadores. “Nosso estudo sugere que alunos que plagiaram de alguma outra forma agora também podem plagiar por meio de IA”, afirmou Guy Curtis, professor da área de neurociência aplicada na Universidade do Oeste da Austrália, em Perth, e um dos autores do trabalho – ele relatou os resultados em um texto publicado na plataforma The Conversation. Curtis atribui a queda da incidência de plágio ao longo dos anos, entre outras medidas, a um melhor treinamento dos estudantes sobre as regras de referência e de citação, que teve impacto principalmente na redução de violações não intencionais.

Ao mesmo tempo, a combinação das respostas dos alunos sobre se eles entendem determinada prática como cópia e se já plagiaram mostrou que, atualmente, a maioria comete a violação de modo consciente. Quando se trata de copiar literalmente da IA, por exemplo, 88% dos alunos sabiam que

aquele ato configurava plágio. A melhor compreensão, contudo, não eliminou a ocorrência do delito. “Isso significa que educar os alunos e fiscalizar a conduta acadêmica deve continuar sendo uma batalha constante”, afirmou Curtis.

Se avanços tecnológicos, como a internet e as ferramentas de inteligência artificial, tornaram o plágio mais acessível, também permitiram que esse tipo de má conduta pudesse ser rastreado com mais facilidade, graças a softwares como Turnitin, Grammarly e iThenticate, observou o psicólogo Roger Kreuz, pesquisador da Universidade de Memphis, nos Estados Unidos, autor do livro *Semelhanças impressionantes: Plágio e apropriação, de Chaucer aos chatbots*, lançado em janeiro pela Editora da Universidade de Cambridge, no Reino Unido. Apesar da facilidade em identificar cópias, o grande volume de trabalhos criativos produzidos torna desafiador detectar todas as violações, segundo o autor.

Kreuz observa como o conceito de plágio sofreu transformações ao longo do tempo. O poeta Geoffrey Chaucer (1343-1400), cujo nome aparece na capa do livro, adaptou ou traduziu histórias de fontes italianas, como Giovanni Boccaccio (1313-1375), num processo que foi chamado de apropriação ou reescrita, e não de plágio – simplesmente porque o conceito de autoria intelectual não existia na Idade Média. Na era Moderna, o plágio torna-se condenável, do ponto de vista moral e legal, mas somente ganha a concepção atual nos últimos 200 anos, com a consolidação da proteção dos direitos autorais. O advento do ChatGPT, segundo diz, demarca um momento histórico. Mas Kreuz questiona até que ponto copiar e colar os resultados de uma consulta ao chatbot realmente se encaixa no conceito mais amplo de plágio – na sua avaliação, estaria mais para *ghostwriting*, já que não se baseia na cópia de um único original e omite sua verdadeira origem.

Na ânsia de descobrir o perfil de quem comete esse tipo de má conduta – e ele enumera exemplos na música, na política e na ciência –, chegou a três categorias principais: os desavisados, que o fazem sem saber o que é plágio; os que o praticam acidentalmente, por falta de organização nos próprios registros, por exemplo; e aqueles que recorrem à cópia deliberadamente e com conhecimento de sua falha ética. O psicólogo entende que a apropriação de conteúdo alheio não é apenas um desrespeito à pessoa cuja escrita foi surrupiada, mas um ataque à noção de que deve ser possível rastrear a origem das ideias, identificando as pessoas de carne e osso que as formularam. “Se deixarmos de nos importar com a origem dos pensamentos, abrimos caminho para um mundo caótico de roubo e descontextualização.” ●

MÔNICA MANIR

Falhas éticas e inconsistência de dados invalidam estudo sobre o uso de células-tronco pós-infarto

A revista médica *The BMJ* anunciou a retratação de um artigo que apontava uma terapia com células-tronco como um “valioso procedimento” após o infarto na prevenção de insuficiência cardíaca. O *paper* recebeu o carimbo de inválido depois que uma coleção de inconsistências em seus dados foi apontada no PubPeer, site onde é possível postar críticas e anotações sobre artigos.

Uma delas foi um “padrão curioso de repetição” no conjunto de dados, com um alto contingente de números inteiros para a altura e o peso dos pacientes, o que sugere erro ou manipulação de informações.

Também chamou a atenção a inclusão de participantes acima dos 65 anos, fora do critério de idade especificado. Houve, ainda, problemas relacionados à atribuição de autoria. Em uma correção anexada à retratação, dois dos 10 autores tiveram seus nomes removidos, ambos vinculados à Universidade Queen Mary de Londres, na Inglaterra (os demais são pesquisadores de universidades iranianas). Os cardiologistas Anthony Mathur e Sheik Dowlut alegaram que apenas forneceram “feedback sobre o manuscrito antes de seu envio” e que haviam pedido ao autor correspondente para não assinarem o artigo. Sobre um deles, Mathur, pesava um questionamento sobre conflito de interesses. Ele é um dos curadores da Heart Cells Foundation, patrocinadora de uma instituição, também administrada por ele, que fornece terapias com células-tronco para cardíacos.

Problemas no registro do estudo acenderam outro alerta. O protocolo que os autores submeteram a *The BMJ* indicava que ele ocorreu antes do recrutamento de

pacientes, prática que garantiria transparência à pesquisa. Mas a data registrada no clinicaltrials.gov, banco de dados de ensaios clínicos, foi posterior.

Os autores alegaram que os problemas não foram intencionais e resultaram da integração de conjuntos de dados hospitalares. Eles forneceram um conjunto revisado, o que não impediu a retratação. Como o ensaio clínico ocorreu no Irã, o periódico solicitou à Administração de Alimentos e Medicamentos do país que avaliasse a origem dos equívocos e incoerências do artigo, mas não obteve retorno. Ao site Retraction Watch, a neuropsicóloga Dorothy Bishop, primeira a sinalizar problemas no estudo, explicou por que ficou apreensiva com o caso: “Existiam amplas evidências de que os dados não eram confiáveis havia cinco meses, e é preocupante que *The BMJ* não tenha retratado o artigo mais rapidamente, dadas as implicações para a segurança dos pacientes”. O estudo estava na fase III, etapa de confirmação da eficácia do tratamento.



Autor descobre artigo que não escreveu com a sua assinatura, pede retratação e recebe cobrança de taxa

O biólogo cipriota Evgenios Agathokleous, pesquisador na Universidade de Ciência e Tecnologia da Informação de Nanjing, na China, descobriu que um artigo do qual não era autor foi publicado com sua assinatura em 2023 na revista *European Journal of Experimental Biology*, sediada na Índia. Poderia ser apenas mais um caso de periódico antiético que publica artigos atribuídos a cientistas sérios para simular respeitabilidade e atrair autores incautos, mas suas práticas predatórias revelaram-se ainda mais disseminadas. Agathokleous solicitou à revista

que o artigo fosse retratado, ou seja, removido dos registros da publicação, e recebeu da Prime Scholars, empresa que edita o periódico, dois e-mails com respostas-padrão. O primeiro informava que o artigo havia sido publicado com sucesso na revista, “de acordo com as normas e políticas da empresa”. O segundo trazia uma cobrança de € 519 euros, o equivalente a cerca de R\$ 3 mil, para cobrir “custos associados ao processamento da publicação, preparação para indexação e manutenção do banco de dados”. O biólogo, que figura em uma lista produzida pela Universidade Stanford como um dos autores mais influentes na área de ciências ambientais, não fez o pagamento e não teve mais notícia da editora. Procurada pelo site Retraction Watch, a Prime Scholars afirmou que resolveria o problema. Até o início de maio, contudo, o artigo falso, sobre técnicas de controle ecológico de pragas na agricultura e na jardinagem, não havia sido retratado e continuava disponível para leitura.

dados_ Publicações científicas voltam a crescer após a pandemia

- Após queda em quase todos os países durante parte da pandemia, entre 2021 e 2023, o número de publicações científicas indexadas¹ voltou a crescer entre 2023 e 2025
- Entre 2021 e 2023, o total mundial de publicações científicas indexadas diminuiu de 3,10 milhões para 2,90 milhões, retração de 6,7%
- Entre 2023 e 2025, a produção mundial voltou a crescer 12,8%, e chegou a 3,27 milhões. Como resultado, o total mundial cresceu 5,2% entre 2021 e 2025
- A recuperação entre 2023 e 2025 foi ampla, no entanto poucos países conseguiram recuperar o número de 2021, como mostram os dados abaixo

Recuperação mínima

EVOLUÇÃO DAS PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS INDEXADAS NO PERÍODO DE 2021 A 2025

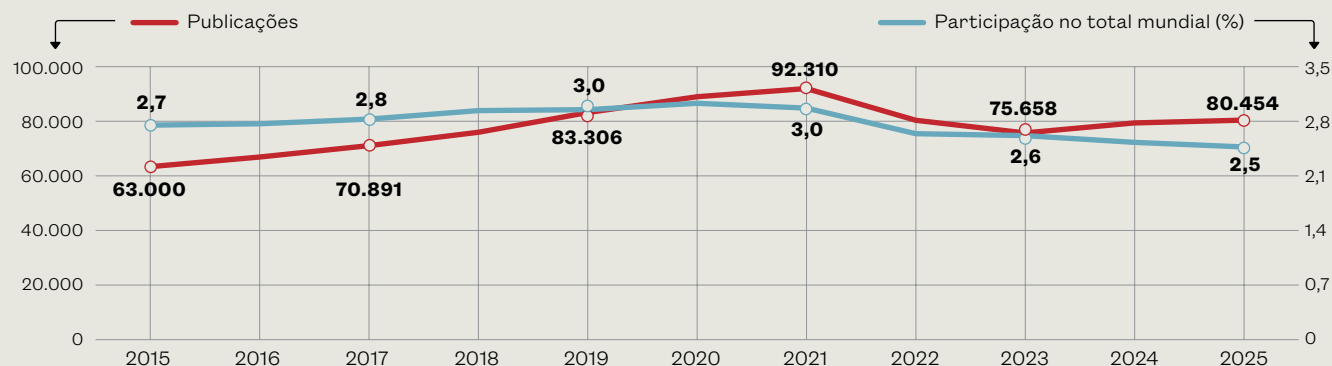
	2021-2023	2023-2025	2021-2025
Média mundial	-6,7	12,8	5,2
China	12,2	34,4	50,8
Arábia Saudita	17,5	21,0	42,3
Turquia	-0,4	27,1	26,6
Índia	0,2	14,9	15,1
Chile	-11,3	17,6	4,3
Coreia do Sul	-8,8	13,8	3,8
África do Sul	-11,5	11,2	-1,6
Itália	-9,1	8,2	-1,6
México	-11,9	10,3	-2,8
Polônia	-13,4	11,0	-3,8
Espanha	-10,8	6,1	-5,4
Portugal	-8,1	1,1	-7,1

	2021-2023	2023-2025	2021-2025
Suíça	-11,0	3,9	-7,5
Holanda	-13,0	4,7	-8,9
Japão	-15,2	6,2	-9,9
Reino Unido	-14,8	4,6	-10,9
Alemanha	-13,4	2,7	-11,1
Canadá	-13,8	3,0	-11,2
Argentina	-13,7	2,1	-11,8
Irã	-15,5	3,7	-12,4
Austrália	-17,8	6,4	-12,5
França	-14,6	2,3	-12,6
BRASIL	-18,0	6,3	-12,8
EUA	-15,3	0,9	-14,5
Rússia	-18,2	-14,4	-30,0

- Dos países incluídos na tabela, China e Arábia Saudita foram os únicos onde houve crescimento significativo entre 2021 e 2023 e continuaram se destacando no período seguinte. Entre 2021 e 2025 tiveram crescimento acima de 40%. Outros países com crescimento entre 2021 e 2025 incluem Turquia, Índia, Chile e Coreia do Sul
- Entre os demais países do grupo do Brics, a África do Sul praticamente recuperou sua produção pré-pandemia², enquanto Brasil e Rússia se mantêm entre os mais afetados³
- Dos países da América Latina incluídos, além do Chile, constam ainda México, que apresentou boa recuperação, mas ainda está com queda em relação a 2021. Já Argentina, assim como o Brasil, mantém-se em 2025, com 10% abaixo do número de 2021

Brasil - número de publicações e participação no total mundial

2015-2025



- No Brasil, a produção científica cresceu por mais de três décadas, até atingir o máximo histórico de 92.310 em 2021. Caiu para 75.658 em 2023, com uma recuperação parcial em 2025, 80.454 publicações. O volume, no entanto, ainda permanece 13% abaixo do registrado em 2021, o que coloca o país entre os mais afetados no grupo analisado
- A participação do Brasil no total mundial, que vinha crescendo há mais de três décadas, também caiu. Após atingir o máximo de 3% entre 2019 e 2021, essa participação diminuiu para 2,5% em 2025

NOTAS (1) PUBLICAÇÕES DOS TIPOS "ARTICLE", "REVIEW" E "PROCEEDINGS PAPER", BASE WEB OF SCIENCE/CLARIVATE (2) A PANDEMIA DE COVID-19 NÃO APESENTA IMPACTO RELEVANTE SOBRE O NÚMERO DE PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS NOS SEUS PRIMEIROS DOIS ANOS, 2020 E 2021, SEGUNDO DADOS DAS BASES BIBLIOMÉTRICAS INTERNACIONAIS (3) A RÚSSIA É O ÚNICO PAÍS DO GRUPO SELECIONADO QUE VEM APRESENTANDO QUEDA NO NÚMERO DE PUBLICAÇÕES EM TODOS OS ANOS DO PERÍODO ANALISADO, INCLUINDO OS ANOS INICIAIS DA PANDEMIA

FONTE INCITES/WEB OF SCIENCE/CLARIVATE, DADOS ATUALIZADOS ATÉ 31/03/2026, BAIXADOS EM 27/04/2026 **ELABORAÇÃO** GPAFI/DPCTA/FAPESP

Rios



Aumento do fluxo das águas nas planícies de inundação da bacia do Amazonas nos últimos 20 anos pode ampliar erosão e pressionar comunidades ribeirinhas

IGOR ZOLNERKEVIC

O mais extenso e volumoso rio do mundo vem ganhando mais superlativos, dessa vez preocupantes. O Amazonas percorre cerca de 6.900 quilômetros (km), de suas cabeceiras na cordilheira dos Andes peruana ao oceano Atlântico, formando a maior bacia hidrográfica do mundo. No município de Óbidos, no Pará, a 800 km de sua foz, a vazão média do rio chegou a 160 mil metros cúbicos por segundo (m^3/s) – um valor comparável à soma dos outros sete rios mais caudalosos do planeta. Durante três a oito meses por ano, o Amazonas inunda vastas áreas de sua várzea, entre 10 km e 100 km de largura, levando sedimentos e nutrientes para florestas, zonas rurais e urbanas por meio de uma rede intrincada de canais e lagos adjacentes. Nas últimas décadas, porém, o rio vem sofrendo com secas e inundações cada vez mais extremas. Du-



mais largos

rante as grandes enchentes de 2009 e 2021, na planície alagada, também chamada de várzea ou planície de inundação, de Parintins, no estado do Amazonas, a vazão quebrou recordes históricos, ultrapassando os 40 mil m³/s – quase a mesma vazão média do Congo, o principal rio da segunda maior bacia hidrográfica do mundo, na África.

Essa é uma das conclusões de um estudo realizado por uma equipe de hidrólogos do Brasil, França e Reino Unido, que combinou medidas do nível e da vazão do rio, imagens de satélite e modelos computacionais para reconstituir o histórico até então desconhecido do fluxo das águas em quatro planícies de inundação do baixo Amazonas, entre os municípios de Manaus, no Amazonas, e Santarém, no Pará, de 1970 a 2023. A pesquisa liderada pela hidróloga Alice Fassoni de Andrade, da Universidade de Brasília (UnB), mostrou mudanças surpreendentes nessa região a partir de 2005. Entre esse ano e 2023, a vazão

do rio aumentou 4,7% em relação ao período de 1970 a 2004. O aumento registrado na planície do Lago Grande do Curuai, em Santarém, em frente a Óbidos, chegou a 60% – um aumento relativo 13 vezes maior, cujas consequências para a floresta de várzea e as comunidades ribeirinhas ainda precisam ser mais bem compreendidas.

“Já havia estudos mostrando o aumento da vazão no rio, mas não nas planícies”, conta Andrade. Sua pesquisa começou ainda durante seu doutorado, defendido em 2020, sob orientação do hidrólogo Rodrigo de Paiva, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), coautor do artigo publicado em março na *Environmental Research Letters*. Andrade dedicou o capítulo final de sua tese ao desenvolvimento de um modelo computacional de um trecho de 1.100 km do rio Amazonas, com uma área de quase 40 mil quilômetros quadrados (km²), entre as confluências com o rio Negro, na altura de Manaus, e com o

Simulação do fluxo da água no rio Amazonas e na região central da bacia amazônica e suas planícies de inundação durante o pico da cheia de junho de 2009. As cores representam a velocidade da água de 0 (azul) até 2 metros por segundo (vermelho)

rio Xingu, em Porto de Moz, a leste de Santarém, a partir do relevo estimado por imagens de satélites, como os da série Landsat, da agência espacial norte-americana (Nasa). Modelos como esse são comuns em hidrologia, mas detalhando regiões bem menores. “Não existem muitos exemplos no mundo de um modelo tão sofisticado”, afirma Paiva.

Medir a vazão de um rio tão grande é uma tarefa complexa. Entre Manaus e Santarém, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) mantém algumas estações fluviométricas que monitoram continuamente o nível do Amazonas. Nas estações do porto de Manaus, esse monitoramento remonta a 1902. Pesquisadores do Serviço Geológico do Brasil (SGB) medem a vazão diretamente apenas algumas vezes por ano, utilizando um equipamento chamado de perfilador acústico de correntes por efeito Doppler (ADCP), que usa pulsos de ultrassom para determinar a velocidade da água em diferentes profundidades. Os hidrólogos usam essas medidas para calibrar a chamada curva-chave, uma relação matemática entre a vazão e o nível medido pelas estações, que permite estimar a vazão do rio e da várzea em qualquer momento.

O modelo de Andrade utilizou essas estimativas de vazão do Amazonas e aquelas dos rios tributários, obtidas a partir de outro modelo de toda a bacia amazônica, desenvolvido anteriormente por Paiva e outros pesquisadores da UFRGS. A partir desses dados, o modelo usou as equações da hidrodinâmica para simular o

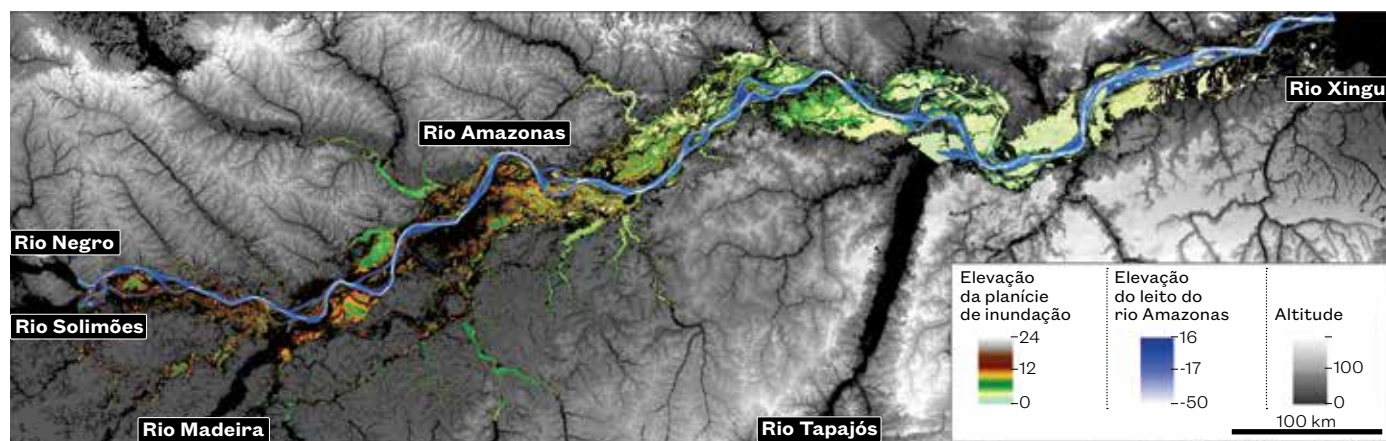


escoamento de água pela região em duas dimensões, entre os anos de 2008 e 2010. Com uma resolução espacial de 400 metros, a simulação demorou dias para ser concluída em um computador do tipo *workstation*.

Durante a defesa da tese de Andrade, um dos membros da banca, o hidrólogo Walter Collischonn, também da UFRGS, foi o primeiro a notar que o modelo sugeria um fluxo muito elevado so-

Escoando em vastas planícies

Mapeamento do relevo permite simular a vazão dos rios nas áreas alagadas em direção ao Atlântico



FONTE ALICE FASSONI (UNB)



Casas e morador da planície inundável do Lago Grande de Curuai, em Santarém (PA), durante a cheia de junho de 2022



bre as planícies de inundação, comparável ao de um grande rio. Em 2022, trabalhando em outro projeto, Andrade participou de uma expedição do SBG para medir a vazão na planície do Lago Grande do Curuai, durante o pico da cheia, em junho. A pesquisadora estava com o hidrólogo Ayan Fleischmann, ex-aluno de doutorado de Collischonn e atualmente no Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá, em Tefé, Amazonas. A vazão medida em Curuai chegou quase a 17 mil m^3/s – a mesma vazão média do Mississippi, o maior rio da América do Norte. Mais tarde, descobriram que pesquisadores do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) já haviam feito medidas semelhantes no mesmo local, registrando 19 mil m^3/s , em junho de 2006, e 12 mil m^3/s , em julho de 2014.

Foi o que motivou a equipe a criar curvas-chave, relacionando os resultados do modelo de Andrade aos dados das estações fluviométricas entre 1970 e 2023, para estimar o histórico das vazões nas maiores planícies de inundação desse trecho do rio, com 40 a 50 km de largura: Jatuarana, em Manaus; Parintins, em Parintins; Curuai, em Santarém; e Monte Alegre, em Monte Alegre, no Pará. Os resultados mostraram que pequenas mudanças na vazão do rio ao longo de décadas foram amplificadas em até 13 vezes nas planícies de inundação. “Diante disso, propomos que é necessário monitorar continuamente os

fluxos de água nas planícies, o que ainda não é feito”, afirma Andrade.

De acordo com os pesquisadores, o aumento não linear nos fluxos do rio e nas planícies depende de variáveis como profundidade, largura, declividade e resistência da vegetação, que freia as correntezas. Para ajudar a entender como pequenas variações no rio podem provocar grandes alterações na planície, Andrade dá um exemplo envolvendo apenas profundidade. “Se a profundidade de um rio aumenta de 50 para 55 metros [m], o aumento relativo é de 10%”, ela explica. “Agora, se o nível da água na planície, que é mais rasa que o rio, sobe de 2 para 7 m, o aumento relativo é de 250%.”

“É um trabalho muito importante”, considera o ecólogo Jochen Schöngart, do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (Inpa), em Manaus, que não participou da pesquisa. De acordo com ele, o aumento observado da vazão nas várzeas vai ao encontro das conclusões de outros estudos, mostrando uma intensificação do ciclo hidrológico da bacia amazônica no século XXI. Dados da estação do porto de Manaus revelam um aumento de 18% na diferença entre o nível mínimo e máximo do Amazonas em relação ao século anterior. Essa tendência de secas e cheias cada vez mais

Uma fonte de biodiversidade

Rios da Amazônia moldaram o relevo e promoveram a distribuição de espécies ao longo de 500 mil anos

Uma equipe liderada pelos geólogos Cristiano Galeazzi, da Universidade de Tecnologia de Chengdu, na China, e Renato Almeida, da Universidade de São Paulo (USP), reconstruiu as mudanças no curso de oito dos principais rios da Amazônia Central, ao longo de cerca de 500 mil anos. Entre eles estão o Solimões (nome do rio Amazonas antes da confluência com o rio Negro) e alguns de seus afluentes, como o Juruá e o Madeira. O estudo sugere que o deslocamento desses rios pela planície amazônica poderia explicar a distribuição atual de seis grandes áreas de endemismo – regiões delimitadas pelos rios atuais, onde vivem muitas espécies exclusivas, sobretudo aves e macacos.

A pesquisa demandou viagens floresta adentro para analisar as camadas sedimentares de grandes barrancos expostos nos rios Solimões e Japurá, mas começou na frente do computador. Analisando imagens de radar de alta precisão do terreno da Amazônia Central, obtidas durante uma missão do ônibus espacial *Endeavour*, da Nasa, em 2000, os pesquisadores identificaram conjuntos de cristas e depressões em forma de

arcos, com mais de 2 km de raio, espalhados pelo interior da floresta. Esses vestígios de meandros abandonados são uma prova de que os grandes rios da região já cruzaram terrenos hoje mais elevados de seus canais. “Os rios migravam por áreas bem mais amplas”, afirma Galeazzi.

De acordo com o estudo publicado na revista *Science Advances*, até cerca de 350 mil anos atrás, a Amazônia Central era uma planície ainda mais suave, com rios serpenteando entre florestas e pântanos frequentemente alagados – uma paisagem distinta da atual, marcada por terraços de florestas de terra firme, cortados por vales com florestas de várzea. À medida que mudava de curso, cada rio depositava grandes quantidades de areia e lama ao longo de extensas áreas chamadas de leques aluviais. Esse cenário começou a mudar há cerca de 350 mil anos, quando quedas no nível do mar, associadas ao aumento do gelo nas calotas polares, reduziram o nível dos rios, que passaram a escavar vales mais profundos. “Com a incisão dos vales, áreas mais altas ficaram fora do alcance das águas dos rios,

transformando leques em terra firme”, explica Galeazzi.

O processo se repetiu ao menos quatro vezes, em episódios separados por dezenas de milhares de anos, expandindo a área coberta pelos terraços de 150 metros (m) a 30 m de altura. Ao mesmo tempo, o avanço da terra firme permitiu a colonização gradual da planície por espécies vindas de regiões vizinhas mais elevadas. Cada população de espécies ocupou seis áreas distintas separadas pelos rios. “Os rios de hoje separam ecossistemas que antes estavam mais distantes uns dos outros”, explica o geólogo.

Essas evidências sugerem uma interpretação mais complexa da hipótese proposta inicialmente pelo naturalista britânico Alfred Russel Wallace (1823-1913), segundo a qual os grandes rios amazônicos seriam barreiras geográficas capazes de separar espécies de animais distintas em margens opostas. O estudo mostrou que a diversificação de espécies antecede a paisagem atual, e que os rios funcionam como barreiras dinâmicas, criando, modificando, separando e aproximando habitats ao longo do tempo.



Próximo a Manaus, o Negro, um dos rios que funcionam como barreiras dinâmicas, criando, separando e aproximando habitats

Sem as plantas e árvores da várzea, o impacto das cheias seria ainda maior

intensas também está registrada em diferenças nos anéis de crescimento de árvores, como a arapari (*Macarobium acaciifolium*) e o cedro-cheiroso (*Cedrela odorata*). Em 2025, uma equipe de pesquisadores do Reino Unido e do Brasil, da qual Schöngart fez parte, publicou uma análise de isótopos estáveis de oxigênio nessas espécies, mostrando o aumento da precipitação na estação chuvosa e a diminuição das chuvas no período seco, durante os últimos 40 anos.

Paiva explica que essa intensificação de secas e inundações na Amazônia

é prevista pelos modelos do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), que levam em conta o aquecimento global provocado pelo aumento das emissões de gases estufa. Esses modelos também indicam um aumento das chuvas no noroeste da bacia amazônica, no Peru e na Bolívia, juntamente com uma redução no sul, o que pode afetar afluentes importantes como os rios Tapajós e Xingu. “Existe muita incerteza sobre como essa combinação de mudanças no regime de chuvas vai afetar o Amazonas no futuro”, ele explica.

A metodologia do estudo das várzeas não permitiu analisar períodos de seca com precisão, mas outras pesquisas envolvendo colaboradores da equipe conseguiram avaliar, por meio de imagens de satélite, os impactos da seca recorde de 2023. Um estudo liderado por Fleischmann mostrou que a seca, combinada a uma onda de calor, elevou perigosamente as temperaturas dos lagos da Amazônia Central. As águas do lago Tefé chegaram a 41 graus Celsius, provocando a morte de mais de 200 botos vermelhos (*Inia geoffrensis*) e tucuxis (*Sotalia fluviatilis*) (ver Pesquisa FAPESP nº 358). Já um estudo coordenado pelo hidrólogo Daniel Maciel, do Inpe, revelou uma redução de 8% na superfície coberta por água da Amazônia Central durante os piores meses da seca, em relação à média de anos anteriores, com alguns lagos encolhendo em até 80%. Em contraste, outro estudo liderado por Fleischmann mostrou que a extensão máxima de todas as áreas alagadas durante enchentes do Amazonas aumentou 26% desde 1980.

“O estudo de Andrade mostra que enchentes muito intensas não causam impactos apenas por atingirem níveis elevados de água, mas também porque aumentam a velocidade com que a água se movimenta dentro das planícies de inundação”, comenta o ecólogo Leandro Castello, do Instituto Politécnico e Universidade Estadual da Virgínia, Estados Unidos, especialista em peixes da Amazônia, que não participou da pesquisa. “O aumento da velocidade da água tende a acelerar os processos de erosão, o transporte de sedimentos e de matéria orgânica, especialmente detritos, folhas, frutos e pequenos organismos que caem das árvores.”

“Ainda é difícil prever com precisão como o aumento da velocidade da água afetará os peixes”, avalia Castello. Ele lembra que muitas espécies podem ter dificuldades, como o pirarucu (*Arapaima gigas*), o tucunaré (*Cichla* spp.) e o acará-açu (*Astronotus ocellatus*), que vivem geralmente em lagos e dependem de áreas com correnteza mais lenta, onde se alimentam de frutos e outros itens que caem das árvores inundadas. Mas outras espécies talvez possam ser beneficiadas pelas novas condições.

Schöngart lembra da importância das plantas aquáticas e das árvores da várzea em absorver a força das águas. Sem elas, o impacto das cheias extremas para as populações ribeirinhas seria ainda maior. Estima-se que um sexto da biodiversidade de árvores da Amazônia venha da floresta de várzea, que por sua vez é cercada por uma grande abundância de espécies de gramíneas e outras plantas aquáticas, como o aguapé (*Eichhornia crassipes*). Entretanto, poucas áreas da várzea do Amazonas estão protegidas por unidades de conservação.

Entender melhor como a aceleração das cheias afeta a biodiversidade e as populações é um dos objetivos do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia Rede de Paisagens Úmidas Brasileiras, criado em 2025 pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação e coordenado por Schöngart. Andrade faz parte de um dos projetos interdisciplinares do instituto, coordenado por Fleischmann e o ecólogo Rafael Magalhães Rabelo, também do Instituto Mamirauá.

O objetivo desse projeto de pesquisa é propor um zoneamento ecológico-econômico da várzea da Amazônia Central, mapeando as vulnerabilidades e a resiliência de cada macro-habitat da região frente a secas e cheias extremas, cada vez mais comuns na região. “Vamos fornecer informações relevantes para políticas públicas voltadas à conservação da várzea”, afirma Schöngart. ●

Os artigos científicos consultados para esta reportagem estão listados na versão on-line.


MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Dando um gás na floresta

Experimento vai estudar como parcelas da Amazônia reagem a um ambiente com 50% a mais de CO₂ do que hoje

MARCOS PIVETTA

Anéis em torno das seis parcelas da floresta amazônica em que serão feitas as pesquisas do AmazonFace sobre os efeitos de uma atmosfera enriquecida com CO₂

An aerial photograph of a dense tropical forest. Two large, circular experimental structures are visible, each consisting of a central tower and a ring of smaller vertical tubes. The structures are surrounded by lush green trees. The lighting is bright, suggesting daytime.

Agua, luz solar e dióxido de carbono (CO₂) são os reagentes que servem de combustível para as plantas fazerem fotossíntese, processo que lhes fornece energia para crescer e se manter vivas. Como se comportaria a Amazônia, a maior floresta tropical do planeta, onde se estima haver 400 bilhões de árvores, se a quantidade de um desses ingredientes, o CO₂, principal gás responsável pelo aquecimento global, fosse 50% maior do que a atual? Essa é a grande pergunta que vai orientar as atividades do principal experimento de campo do programa AmazonFace, uma colaboração internacional que se iniciou em 2011 e entra agora em sua fase mais importante.

Em junho, começam os testes finais das instalações que vão monitorar em detalhes, pelos próximos 10 anos, seis parcelas de floresta adulta e preservada na reserva ZF2, uma estação experimental do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (Inpa), localizada a cerca de 70 quilômetros ao norte do centro de Manaus. A tecnologia usada em campo é denominada *free-air CO₂ enrichment* (Face) e serviu de inspiração para o nome do programa. Foi criada na década de 1990 nos Estados Unidos e tem sido empregada em estudos que tentam entender o impacto de uma atmosfera rica em CO₂ sobre o comportamento de diversos tipos de vegetação.

Em linhas gerais, um ar com mais dióxido de carbono produz nas plantas, em maior ou menor grau, um efeito similar ao emprego de um adubo no solo: promove seu crescimento. É como se o excesso de CO₂ disponível atuasse como um fertilizante: as espécies vegetais retiram mais desse

gás da atmosfera e contam com um combustível extra para fazer fotossíntese. Os pesquisadores utilizam comumente a expressão “fertilização por CO₂”. Ao retirar mais dióxido de carbono da atmosfera, um efeito benéfico ao aquecimento global e às mudanças climáticas, as plantas fixam mais carbono e tendem a produzir mais biomassa (troncos, galhos e folhas). Esse é o quadro genérico, derivado de estudos feitos em pequena escala, geralmente com uma ou poucas espécies vegetais.

Em campo, ainda mais em meio a uma floresta tão biodiversa como a amazônica, onde deve haver cerca de 16 mil espécies vegetais, ninguém sabe ao certo qual seria o impacto da fertilização por CO₂ no ecossistema como um todo. É razoável pensar que a floresta turbinada por uma dose extra desse gás pode mudar a forma como as plantas interagem entre si, adaptam-se às mudanças climáticas e usam os insumos disponíveis, como água e nutrientes.

“O experimento é o primeiro no mundo que vai usar a tecnologia Face para estudar uma floresta tropical. Os outros trabalhos foram feitos em zonas de clima temperado, que têm uma vegetação diferente da Amazônia”, comenta o ecólogo e meteorologista David Lapola, da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), um dos dois coordenadores nacionais do AmazonFace. “Se não houver nenhum problema nos testes, deveremos iniciar oficialmente as medições contínuas nas seis parcelas de floresta em agosto.”

Uma estrutura significativa foi montada na estação do Inpa. Cada uma das seis parcelas é circundada por um anel com 30 metros (m) de diâmetro, formado por 16 torres de 35 m de altura conectadas a um tanque de armazenamento de

CO₂ líquido. Durante o dia, quando há luz solar e os vegetais absorvem dióxido de carbono para fazer fotossíntese, três parcelas serão “alimentadas” com ar enriquecido por uma dose extra desse gás. O reforço elevará a concentração diurna de dióxido de carbono no interior desse trio de anéis das atuais 420 partes por milhão (ppm) para 620 ppm, concentração que a atmosfera terrestre poderá atingir nos próximos 50 anos ou até o final do século, segundo algumas estimativas. Nos outros três anéis, que funcionam como uma espécie de grupo de controle, será aspergido ar com a quantidade atual de dióxido de carbono. O aumento na concentração de CO₂ empregado no experimento é da mesma ordem de grandeza do que ocorreu no planeta entre o final do século XIX e hoje, quando a concentração atmosférica do gás se elevou em 50%, de 280 para 420 ppm.

No AmazonFace, será possível acompanhar a evolução ao longo do tempo das parcelas de floresta mantidas em um ar rico em CO₂ com as que vivem sob uma atmosfera com a concentração atual desse gás. Os anéis foram instalados em pontos muito próximos da floresta, em ambientes praticamente iguais. Distam entre si cerca de 90 metros. A única grande diferença é a quantidade extra de dióxido de carbono em três das seis parcelas. “Dentro de cada anel, há entre 50 e 70 árvores maduras, sem contar a vegetação de menor porte. Difícilmente existe mais de um exemplar de uma mesma espécie arbórea em cada parcela. Nos seis anéis, deve haver cerca de 400 espécies. Vamos ver no experimento, entre outras questões, quais espécies vão se dar bem ou mal no ambiente rico em CO₂”, explica o engenheiro florestal Carlos Alberto Quesada, especialista em solos do Inpa, o outro coordenador nacional do AmazonFace. “Os estudos com a tecnologia Face costumam ser feitos em áreas de floresta formadas por apenas uma ou duas espécies de árvores.” Na Austrália, por exemplo, está em curso um experimento desse tipo em uma mata nativa constituída predominantemente por eucaliptos, espécie originária da Oceania.

Uma série de dispositivos foram instalados nas parcelas para fornecer informações para os estudos e facilitar o trabalho dos cientistas. Diferentes tipos de sensores registram quase tudo que pode ser mensurado no ambiente sob influência dos anéis: temperatura, direção do vento, concentração de dióxido de carbono (entre outros parâmetros atmosféricos), taxa de fotossíntese nas folhas das plantas, dinâmica das raízes e presença de nutrientes no solo. Medições periódicas da biomassa das plantas vão verificar se e quanto

Torre de liberação de CO₂ na atmosfera (ao lado); visão da parte interna de um anel; e detalhe da presença de água no solo local



O local do AmazonFace

O experimento envolve seis parcelas de floresta preservada em uma área do Inpa situada 70 quilômetros ao norte de Manaus



FONTE AMAZONFACE

FOTOS: JOÃO M. ROSA/AMAZONFACE; INFOGRÁFICO: ALEXANDRE AFFONSO/REVISTA PESQUISA FAPESP



lonizadas por micorrizas arbusculares, fungos que melhoram a absorção de nutrientes.

“Essas alterações, tanto no solo como na serrapilheira, sugerem que as plantas estão se adaptando para aumentar sua eficiência na aquisição de fósforo, um nutriente que, se estiver em falta, limita seu crescimento na Amazônia”, diz a pesquisadora brasileira Nathielly Martins, da Universidade Técnica de Munique, na Alemanha, autora principal do trabalho e integrante da equipe do AmazonFace. No estudo, também foi encontrada uma menor quantidade de fósforo no solo perto das plantas, um indicativo de que as espécies parecem realmente ter elevado sua capacidade de retirar o nutriente quando submetidas a uma atmosfera com mais dióxido de carbono.

as árvores estão engordando com a dieta extra de CO₂. Cada anel do AmazonFace conta ainda com os serviços de um guindaste especial de 45 m de altura, que foi usado para a construção das torres do sistema, e será empregado, de agora em diante, como meio de acesso à copa das árvores para a realização de medições.

De 2019 a 2022, o AmazonFace contou com seis pequenas câmaras de topo aberto, com diâmetro de 2,5 m e 3 m de altura, um tipo de estrutura que lembra uma estufa circular com um buraco no teto e é usado há décadas para estudar a reação de plantas a ambientes ricos em CO₂. Instaladas

a cerca de 100 m do trecho da floresta amazônica que abriga os anéis do experimento, as câmaras foram usadas para estudos específicos sobre o efeito da fertilização por CO₂ em certas espécies vegetais ou em determinadas condições ambientais.

Um trabalho que usou dados das câmaras de topo aberto foi publicado no final de abril na revista *Nature Communications*. No estudo, os pesquisadores constataram que, após terem sido submetidas a um ar rico em dióxido de carbono por um período de oito meses a um ano, a comunidade de plantas de um sub-bosque da floresta – a vegetação de baixa estatura que cresce sob o dossel das árvores – adotou diferentes estratégias radiculares para se adaptar a essa condição atmosférica. Na serrapilheira, camada sobre o solo onde se acumulam restos de plantas e de material orgânico vivo em decomposição, as raízes se tornaram mais compridas e com menor diâmetro, aumentando sua área de atuação. No solo, elas foram mais co-

Para o botânico Marcos Buckeridge, do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo (IB-USP), que não participa do AmazonFace, o experimento ao ar livre ao norte de Manaus tem potencial de gerar descobertas interessantes sobre os impactos de um ambiente rico em CO₂ na ecologia das plantas, ou seja, como elas se relacionam entre si na floresta e com o ambiente. “Os efeitos fisiológicos de altas concentrações de dióxido de carbono sobre as plantas estão muito bem caracterizados e dificilmente haverá diferenças significativas nas respostas encontradas pelo AmazonFace. Nessas condições, as espécies aumentam a fotossíntese e o acúmulo de reservas energéticas [açúcares]”, afirma Buckeridge. “Mais de mil trabalhos científicos mostraram isso.” Há mais de duas décadas, o pesquisador da USP estuda as reações fisiológicas de plantas cultivadas dentro de câmaras de topo aberto com ar enriquecido de dióxido de carbono (ver Pesquisa FAPESP nº 80).

Até agora, foram investidos cerca de R\$ 80 milhões no AmazonFace. Metade da verba veio de uma série de fontes brasileiras: FAPESP, Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) e Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT). Os outros 50% foram provenientes do MetOffice, o serviço de meteorologia do Reino Unido, cuja participação no programa teve início em 2019. O custo total da iniciativa deverá chegar a R\$ 260 milhões nos próximos 10 anos. “Temos verbas garantidas para o funcionamento do AmazonFace por cinco anos”, diz Lapola. ●

O projeto e o artigo científico consultados para esta reportagem estão listados na versão on-line.



Repórteres das águas

Com membranas entre os dedos e pelagem isolante, *Lontra longicaudis* passa boa parte da vida no ambiente aquático

Pesquisa e educação ambiental ajudam a produzir conhecimento e conscientização sobre lontras brasileiras

MARIA GUIMARÃES

As lontras vivem entre mundos. Entre o terrestre e o aquático, entre o natural e o que sofre influência das atividades humanas. Nessa interface, elas são registros vivos desses impactos, sofrem suas consequências e precisam de proteção. Na água doce, alimentam-se de peixes; no mar e em manguezais diversificam a dieta, comendo também caranguejos e outros crustáceos. Na lagoa do Peri, em Florianópolis, Santa Catarina, o Projeto Lontra há 40 anos se dedica a observar esses mamíferos da espécie *Lontra longicaudis*, colher dados sobre sua ecologia e conscientizar a população a respeito de seus encantos.

Em balanço publicado em janeiro na revista *Estuarine Management and Technologies*, seu fundador, o oceanógrafo Oldemar Carvalho Junior, afirma a necessidade de unir ciência, tecnologia e relações sociais para remendar o tecido ecológico e relata uma queda na população de lontras na lagoa do Peri – percepção que precisaria ser verificada por um estudo mais aprofundado. Para albergar o projeto, ele criou o Instituto Ekko Brasil, que faz parcerias com universidades e mantém uma pesquisa constante por meio de subprojetos.

Visivelmente apaixonada pelos animais, a bióloga e engenheira de aquicultura Alessandra Bez Birolo, gerente de projetos no Instituto Ekko Brasil, afirma que a lontra “é uma mensageira da saúde do ecossistema”. Não restritos à lagoa do Peri, os animais da região costumam circular por toda a ilha de Florianópolis, que tem 155 quilômetros (km) de ponta a ponta, onde houver ambientes estuarinos – locais nos quais a água do mar se mistura com a de rios. Mortas a tiros, atropeladas por carros e embarcações e presas em redes de pesca, elas são vítimas da ação humana cujos efeitos o projeto vem detectando, como

a pesquisadora descreveu em artigo na mesma edição da *Estuarine Management and Technologies*. Na lagoa do Peri, 66% dos animais são portadores do parasita *Toxoplasma gondii*, causador da toxoplasmose, comum em gatos domésticos. No vale do Itajaí, conta Birolo, as lontras sofrem intoxicação por metais pesados acumulados nos peixes e por agrotóxicos que escoam das plantações, um indício do que acontece com as águas. O lugar que os animais frequentam ou evitam é uma informação reveladora sobre a saúde local.

A bióloga participa do projeto desde 2003 e descreve Carvalho Junior como um visionário, que começou o trabalho com o objetivo de traduzir a informação ecológica para quem não tinha acesso a esse conhecimento, como os ribeirinhos e indígenas que vivem na região. O Instituto Ekko Brasil também cuida de animais feridos e, quando possível, devolve-os à natureza, reforçando as populações.

Em sua sede na beira da lagoa, o projeto tem um programa de visita guiada aberto ao público e recebe visitas de escolas e universidades. Voluntários que podem doar tempo de trabalho e ajudar a levantar dados, enquanto usufruem da oportunidade de se familiarizar com os curiosos mamíferos, colhendo suas fezes para análise laboratorial e anotando observações sobre seu comportamento. “Saímos de caiaque de manhã cedo, quando os animais estão ativos, e com ajuda de binóculos procuramos indícios de sua presença na água, nas margens e nos costões rochosos”, conta. A visita acontece de manhã e no fim da tarde, com atenção para não perturbar atividades sensíveis, como o cuidado das mães às proles, que se desenvolvem por três meses em terra firme antes de se aventurar na água. Em algumas tocas a equipe instalou armadilhas fotográficas, capazes de capturar imagens sem incomodar os animais.

Para Birolo, o monitoramento coletivo, que envolve voluntários e visitantes, é importante como mobilização social e tem um papel que transcende a pesquisa em laboratório. “As pessoas entendem a própria importância na conservação das lontras”, diz ela, atualmente estudante de doutorado no Programa de Pós-graduação em Energia e Sustentabilidade (PPGES) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), unindo sustentabilidade e aspectos sociais. “Nosso maior bem é a água; a lontra é a comunicadora, a repórter dos ambientes aquáticos.”

Os pesquisadores do Projeto Lontra estão no processo de elaborar um índice de saúde das lontras, com base em quatro parâmetros: frequência de fezes como indicação de abundância, carga toxicológica, conectividade do hábitat e percepção da comunidade por meio de entrevistas. “É preciso que seja replicável, senão não faz sentido”, diz a bióloga, completando que a ferramenta poderá ser adaptada a condições locais em outras regiões. As ameaças também mudam ao longo do tempo. Até os anos 1980, as lontras eram muito caçadas para usar suas peles para fazer estolas e casacos. Em consequência da conscientização por movimentos ambientalistas

e da proibição em muitos países – no Brasil, inclusive – do uso de peles de animais silvestres, esse quadro mudou.

Não é só na lagoa do Peri que as lontras parecem estar contraindo doenças de animais domésticos. Em amostras de sangue de seis lontras, a veterinária Greice Gonchoroski encontrou anticorpos contra cinomose e parvovirose, ambas doenças caninas, além de toxoplasmose. O estudo foi feito na Estação Ecológica do Taim, nos municípios gaúchos de Rio Grande e Santa Vitória do Palmar, como parte de seu mestrado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Para colher o sangue, ela usa armadilhas do tipo tomahawk, que são como gaiolas cuja porta se fecha quando o animal entra e pisa em uma plataforma, embora sejam raras as lontras incautas que entram (para outros animais, o sistema funciona bem). “A cada 100 noites de armadilha, pegamos uma”, conta ela, o que explica a amostragem limitada. É preciso sedar o bicho antes de abrir a armadilha, para evitar estresse. Os resultados foram descritos em artigo publicado em julho de 2025 na revista científica *Frontiers in Mammal Science*, que também avaliou a coincidência com animais domésticos e registrou, por meio de armadilhas fotográficas, cães, gatos e lontras passando pelo mesmo lugar.

A veterinária conta que o interesse ecológico é raro na pesquisa veterinária e explica que não é necessário os animais se encontrarem para que as doenças sejam transmitidas. Os vírus e parasitas permanecem no ambiente nas fezes e na água, diz ela. Falta averiguar que efeitos as doenças têm nas lontras, mas ela infere a possibilidade de impactos neurológicos e danos ao sistema imunológico, com base no que se observa em outros

À vontade no Pantanal (1) e na Estação Ecológica do Taim (3), lontras criam filhotes (2) em terra firme



animais. Gonchoroski agora está conduzindo estudo semelhante no pantanal com outro tipo de lontra, a ariranha (*Pteronura brasiliensis*).

“O grande problema dos animais selvagens é que conhecemos pouco sobre quais patógenos os afetam”, completa o veterinário Estevam Lux Hoppe, coordenador do Laboratório de Enfermidades Parasitárias e Zoonoses (LabEPar), do *campus* de Jaboticabal da Universidade Estadual Paulista (Unesp). Seu grupo analisou fezes de ariranhas (38 amostras) e lontras (apenas quatro) do Pantanal

em busca de caracterizar as doenças comuns “antes que seja tarde”, de acordo com o artigo científico publicado em setembro de 2025 na *Frontiers in Mammal Science*. Para o pesquisador, o ponto mais importante foi usar uma abordagem moderna, com técnicas moleculares, que raramente são empregadas em estudos parasitológicos com foco veterinário. “A helmintologia [estudo dos vermes] costuma ser mais artesanal, mas estamos lançando bases para estudos futuros.”

Hoppe explica que a ariranha está restrita às regiões Centro-Oeste e Norte, mas a lontra é mais versátil e por isso enfrenta maiores desafios por impactos antrópicos ao longo da sua distribuição. Ali no Pantanal, no entanto, seu hábitat permanece mais protegido. O estudo detectou uma sobreposição entre os tipos de parasitas encontrados nas duas espécies, mas a comparação é dificultada pela diferença no número de amostras que foi possível obter durante a duração do estudo. “Os projetos acadêmicos precisam ter começo, meio e fim”, define. Isso impõe restrições e uma realidade diferente do que acontece em organizações não governamentais (ONG). Os papéis acabam sendo, assim, complementares. O grupo da Unesp pretende continuar a parceria com o Projeto Ariranha, que atua na região e pode continuar as coletas, o que deve permitir continuar o estudo.

Para o biólogo Marcelo Rheingantz, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), a atuação do Projeto Lontra cumpre um papel importante de conscientização e conservação. “Eles podem fornecer subsídios principalmente no que diz respeito às relações entre os animais e os seres humanos”, completa. Coordenador do Grupo de Especialistas



4

em *L. longicaudis* na União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN), ele é reconhecido como um dos grandes conhecedores desses animais, embora atualmente não esteja conduzindo projetos de pesquisa com essa espécie.

O papel da IUCN é mapear a existência das espécies, identificando problemas e oferecendo subsídios para traçar políticas públicas de proteção. As lontras estão agora em um momento de encruzilhada, desde que foi proposta uma divisão da espécie em duas distintas, pelo grupo do biólogo Eduardo Eizirik, da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUC-RS), em publicação de 2024 na revista científica *Journal of Mammalogy*. Segundo essa proposta, ainda não validada pelo grupo de especialistas, *L. longicaudis* viveria da bacia amazônica para o sul, até a Argentina. As lontras do norte, incluindo uma parte dos Andes até 4 mil metros de altitude, o Caribe e as zonas costeiras do México, passariam a se chamar *L. annectens*.

Entre os pesquisadores a percepção geral é de que essa redefinição pode mudar o *status* de conservação das lontras, atualmente consideradas não ameaçadas. Rheingantz ainda não sabe quando essa deliberação será feita na IUCN, mas é provável que seja necessário antecipar a reavaliação periódica, que normalmente não aconteceria antes de 2030. “Embora elas existam em boa parte dos rios perenes da Amazônia, da Mata Atlântica e do Cerrado, as ameaças locais vêm crescendo”, afirma Rheingantz, destacando ações humanas que deterioram a qualidade da água. Birolo, do Ekko Brasil, ressalta que a lontra habita o bem comum. Ou seja: o que é bom para elas, também é saudável para os outros organismos (o humano incluso). ●

De distribuição mais restrita, a ariranha (*Pteronura brasiliensis*) também reflete a saúde do ambiente

Os artigos científicos consultados para esta reportagem estão listados na versão on-line.

Cada tarefa, um cérebro

Cérebros diferentes estão associados a funções distintas que cupins machos e fêmeas desempenham na colônia

GUILHERME COSTA

Durante semanas, o biólogo Iago Bueno da Silva frequentou áreas de mata no *campus* da Universidade de São Paulo (USP), em Ribeirão Preto, com um caderno na mão e uma lanterna na cabeça. Sua busca era por cupins da espécie *Syntermes dirus*, insetos que só ocorrem na região neotropical e são considerados engenheiros do ecossistema por seu papel na reciclagem de matéria orgânica e na modificação do solo, embora ainda pouco compreendidos pela ciência. No Brasil, eles são encontrados em regiões de Cerrado e Mata Atlântica.

Acompanhado de um sapo que aparecia quase toda noite, a cada 15 minutos da Silva, então pesquisador em estágio de pós-doutorado da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto (FFCLRP) da USP, monitorava

27 entradas de três colônias diferentes, querendo entender se machos e fêmeas de cupins operários tinham atividades distintas. “Quando o inseto faz tarefas fora da colônia, lidando com uma diversidade de estímulos, isso pode refletir em um cérebro mais desenvolvido”, explica. Essa relação entre comportamento e estrutura cerebral já havia sido identificada em abelhas, formigas e vespas, mas os cupins seguiam à margem dessas investigações. A tarefa é mais difícil por existirem representantes dos dois sexos em cada casta, o que não acontece nos outros insetos sociais.

Os resultados das noites de campo, publicados em abril na revista científica *iScience*, mostram que a região do cérebro chamada complexo central, associada ao processamento de informações espaciais e que auxilia na orientação e navegação no ambiente externo, é proporcionalmente maior nos machos. A diferença acompa-

nha a função: são eles que deixam o ninho à noite para forragear (buscar fragmentos de folhas para a colônia), enfrentando predadores, variações de temperatura e um terreno desconhecido. Como são cegos, os cupins se orientam por vibrações e pelo olfato, detectando sinais químicos do ambiente com as antenas.

As fêmeas, por sua vez, apresentam esse centro neural menos desenvolvido e permanecem próximo à entrada, trabalhando na construção do ninho. “O cérebro é um órgão extremamente plástico, sujeito a variações que refletem o que o bicho está fazendo”, explica o biólogo Fábio Nascimento, da FFCLRP-USP e um dos autores do estudo. “Quando o inseto começa uma atividade, vários sub-compartimentos do cérebro ainda não estão desenvolvidos e são os estímulos que aumentam as conexões, resultando em um volume ampliado de determinada região cerebral.”

Operária
fêmea carrega
terra: tarefas
divididas



Para compreender a plasticidade cerebral dos cupins, os pesquisadores combinaram observações nas entradas do ninho, análise genética e, no cérebro, dissecaram e marcaram com anticorpos que se ligam às proteínas envolvidas nas sinapses (as conexões entre neurônios), tornando visíveis as regiões ativas. Em seguida, a equipe escaneou os órgãos por microscopia confocal, técnica que gera fatias sequenciais do tecido e permite reconstruir o órgão em três dimensões. Com isso, os pesquisadores conseguiram calcular o volume de regiões específicas, como os lobos antenais, associados à percepção olfativa, os corpos pedunculados, ligados à memória e ao aprendizado, e o complexo central, relacionado à navegação e à orientação – justamente a região que se mostrou mais desenvolvida nos machos.

Já na análise genética, era preciso capturar os insetos no exato momento em que estavam em atividade – machos cortando folhas, fêmeas construindo o ninho – e congelá-los imediatamente em nitrogênio líquido, preservando o estado do cérebro naquele instante. Cada indivíduo coletado no campo era colocado em um tubo e mergulhado no nitrogênio ali mesmo, na entrada do ninho, antes de ser armazenado em freezer a -80 graus Celsius (°C) até a dissecação. Só

então os cérebros eram retirados e submetidos à extração de RNA. “Se a gente leva o inseto para o laboratório e no outro dia começa a análise, a dinâmica cerebral já mudou, porque ele não está mais tendo aquele comportamento que nos interessa”, explica da Silva, primeiro autor da publicação, atualmente em estágio pós-doutoral na Universidade Paris-Saclay, na França.

Os pesquisadores mediram a expressão do gene *foraging*, presente em vários insetos e associado ao comportamento de busca por alimento. Contudo, encontraram um obstáculo: a espécie *Syntermes dirus* não tinha genoma sequenciado.

A equipe buscou referências de outros cupins em bancos de dados, alinhou essas sequências e usou as regiões conservadas para desenhar *primers*, que são fragmentos de DNA que funcionam como ponto de partida para a amplificação conforme onde se acoplam.

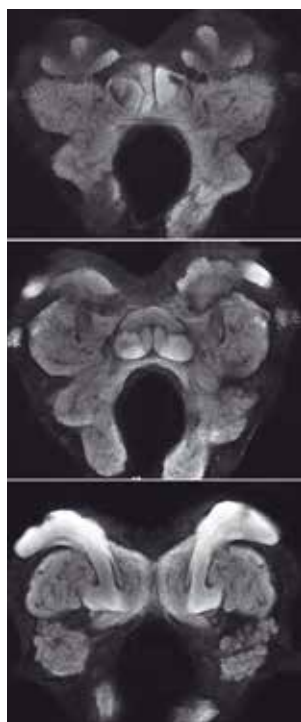
Para garantir que a estratégia funcionaria, os pesquisadores fizeram a clonagem e o sequenciamento do fragmento do gene em questão para confirmar se a região correta havia sido amplificada. Funcionou e permitiu quantificar, pela

primeira vez, a expressão desse gene em cupins sob condições naturais. O resultado mostrou que o gene tem expressão maior no cérebro dos machos do que no das fêmeas e dos soldados, a casta responsável exclusivamente pela defesa da colônia.

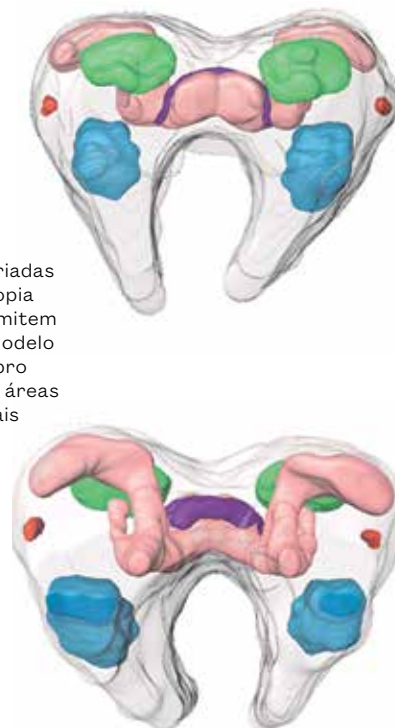
“A gente sabe muito mais sobre plasticidade cerebral em abelhas, formigas e vespas do que em cupins e não é à toa. A importância da abelha todo mundo conhece, mas não a dos cupins”, destaca a bióloga sistemata Eliana Canello, do Museu de Zoologia da USP. “A divisão de trabalho dentro das castas de cupins ainda é pouco compreendida. O operário faz tudo, mas por que existem diferentes tipos de operário? Esse trabalho responde a isso ligando comportamento, genética e arquitetura cerebral.” Em uma colônia de cupins, operários se ocupam do forrageio, da construção, da limpeza e da alimentação da prole, enquanto soldados são especializados exclusivamente na defesa.

Canello não participou do estudo, mas vê nos resultados um avanço para a compreensão desses insetos que considera centrais nos ecossistemas tropicais. Diferente dos cupins que aparecem em casa e são tratados como pragas, a espécie estudada constrói ninhos com uma grande parte subterrânea, abre galerias e estoca folhas secas de gramíneas em câmaras internas, processo que modifica a composição física e química do solo, aumenta a infiltração de água e contribui para o ciclo de nutrientes.

Essa atividade, porém, é sensível ao calor. Durante o trabalho de campo, houve noites em que os insetos não saíram, coincidindo com as temperaturas mais altas. Em um cenário de extremos climáticos, esse comportamento levanta questões ainda sem resposta: como esses insetos respondem a variações térmicas persistentes e quais seriam as consequências para os ecossistemas beneficiados com sua atividade? Para Canello, os cupins estão entre os grupos suscetíveis a essas mudanças e a perda de vegetação, combinada com o aumento de temperatura, pode ser suficiente para alterar profundamente as populações dessas espécies. ●

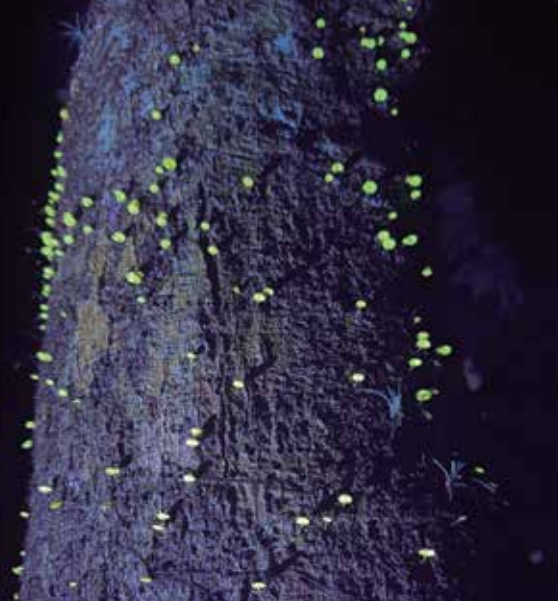


Imagens seriadas de microscopia (à esq.) permitem construir modelo 3D do cérebro e comparar áreas entre animais diferentes



O projeto e o artigo científico consultados para esta reportagem estão listados na versão on-line.

Na trilha dos vagalumes



Turismo de observação de vagalumes e outros seres que brilham no escuro pode ajudar na conservação da Mata Atlântica

IGOR ZOLNERKEVIC

Desde 2007, o biólogo Danilo Trabuço do Amaral participa de expedições noturnas em regiões de mata fechada do estado de São Paulo e de outros locais do país procurando por vagalumes. Um dos lugares que mais impressionaram o pesquisador da Universidade Federal do ABC (UFABC) foi a Estação Ecológica de Jureia-Itatins (EEJI), um dos trechos mais bem preservados de Mata Atlântica, com 844 quilômetros quadrados (km²) de extensão, em Peruíbe, no litoral sul paulista. Ali, Amaral chegou a avistar em uma única noite até 15 vagalumes por metro de trilha. “Eles trombam e pousam em você, de tantos que são”, ele conta.

Em um levantamento inédito na região, Amaral e sua equipe encontraram 23 espécies de vagalumes, quatro de fungos e uma de microrganismo marinho que brilham no escuro – um espetáculo com potencial de aliar turismo à conservação da natureza. Em um artigo publicado em fevereiro na revista *Journal for Nature Conservation*, eles discutiram os possíveis benefícios de fomentar o ecoturismo de bioluminescência na EEJI e em outras reservas de Mata Atlântica.

A inspiração veio de experiências bem-sucedidas no exterior. No Japão, os vagalumes são celebrados em festivais tradicionais de verão conhecidos como *hotaru matsuri*, e seu hábitat natural – matas próximas a cursos de água – é preservado, mesmo em áreas urbanas. Nos Estados Unidos, a partir dos anos 2000, o Parque Nacional das Grandes Montanhas Fumegantes começou a receber pequenos grupos de turistas para observar o fenômeno da sincronização, em que centenas a milhares de vagalumes *Photinus carolinus* piscam de maneira coordenada. Situações semelhantes ocorrem no México e na Malásia.

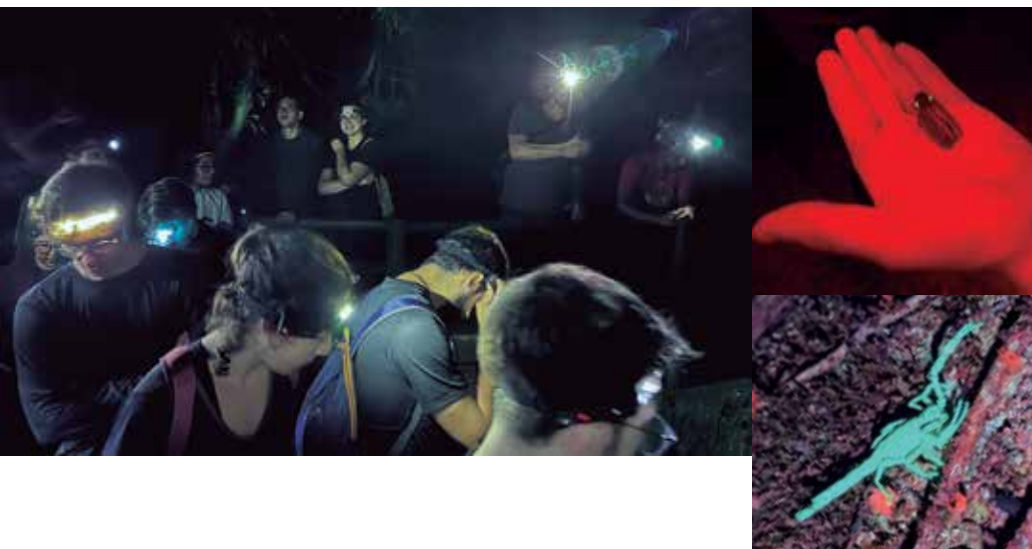
Apesar de ser o país com a maior diversidade de besouros bioluminescentes, abrigando cerca de 500 das 3 mil espécies conhecidas no mundo, o Brasil ainda explora pouco seu potencial turístico. O destino nacional mais famoso é o Parque Nacional das Emas, em Goiás, onde as larvas do vagalume *Pyrearinus termitillumians*, abrigadas em milhões de cupinzeiros que podem chegar a quase 2 metros de altura, emitem uma luz verde contínua nas noites de primavera. Passeios noturnos são oferecidos por algumas operadoras de turismo da região, atraindo alguns milhares de visitantes por ano.

De janeiro de 2024 a janeiro de 2026, Amaral contou com a ajuda de sua colaboradora e esposa, a bióloga Isabel Bonatelli, da Universidade Federal de São Paulo (Unifesp), e três orientandos para realizar coletas mensais de dois a três dias de duração na EEJI, como parte de um projeto de levantamento. O grupo aguardava o pôr do sol para explorar os sete locais escolhidos para representar a diversidade de ambientes da estação, seguindo ao longo do rio Una do Prelado e cruzando desde florestas de encostas de montanha até a vegetação à beira da praia da Barra do Una.

O levantamento na EEJI encontrou espécies das três principais famílias que ocorrem no Brasil: os fengodídeos, os elaterídeos, ou besouros tec-tec e os lampirídeos. Amaral está utilizando os dados coletados para revisar a filogenia, ou classificação das espécies, enquanto Bonatelli investiga se a variabilidade genética da população do lampirídeo *Photinus succensus* é suficiente para garantir a sobrevivência da espécie ali.

Em troncos ou embaixo da serrapilheira do chão da floresta, confundindo-se com as larvas de vagalumes, os pesquisadores encontraram também redes de filamentos bioluminescentes de fungos, talvez dos gêneros *Gerronema* e *Mycena*, de onde brotam cogumelos de

Fungos, insetos e aracnídeos que emitem luminosidade atraem observadores noturnos



brilho verde durante o verão. A luz noturna dos fungos atrai insetos que acabam carregando pequenas porções de seus filamentos para outras áreas, ajudando a dispersá-los pela floresta.

Amaral vem discutindo com Aruã Caetano, gestor da EEJI, como implementar o turismo de bioluminescência em pequena escala na estação. O acesso à reserva é normalmente restrito a atividades educacionais e de pesquisa, com algumas áreas liberadas a pequenos grupos de turistas autorizados. A ideia é promover passeios noturnos conduzidos por guias especialmente treinados, voltados para pequenos grupos instruídos por meio de palestras e material impresso. Novas trilhas precisariam ser feitas com passarelas e plataformas para reduzir o impacto do pisoteio que compacta o solo, prejudicando fungos e larvas. A atividade ofereceria uma fonte de renda extra à população caiçara que vive dentro ou próximo à estação, além de conscientizá-la a reduzir a poluição luminosa.

O pesquisador defende que projetos semelhantes poderiam ser aplicados em outras áreas de Mata Atlântica com bio-

diversidade comparável, como o Parque Estadual Carlos Botelho, em São Miguel Arcanjo, no sudoeste paulista. Ali vive uma das poucas espécies conhecidas de vagalumes brasileiros capazes de atingir alto grau de sincronização, do gênero *Bicellonycha*. Amaral conta que o piscar coletivo desses insetos produz ondas sincronizadas, como a “ola” de uma torcida em um estádio.

“Concordo totalmente com o Danilo”, afirma o químico Cassius Stevani, da Universidade de São Paulo (USP), um dos responsáveis por elucidar o mecanismo de geração de luz em fungos bioluminescentes (ver Pesquisa FAPESP nº 168). Desde 2002, Stevani e seus colaboradores frequentam o núcleo Santana do Parque Estadual Turístico do Alto do Ribeira (Petar), em Iporanga, no sul paulista, onde descreveram 17 espécies desses fungos. Em 2022, a agência de turismo Planeta Trilha venceu uma licitação do parque para oferecer o passeio “Luminescência no Petar”, com guias inicialmente treinados por Stevani.

A proposta da experiência turística é mostrar não apenas fungos e vagalumes, mas também outros fenômenos naturais. Efeitos conhecidos como fluorescência e fosforescência fazem com que alguns seres vivos e minerais brilhem quando iluminados por luz ultravioleta. Folhas

podem emitir fluorescência vermelha; líquens, tons de azul, verde ou amarelo; escorpiões, ciano; e opilhões, azul. Rochas de calcita, encontradas na entrada das cavernas do parque, emitem um brilho verde. Também nas cavernas, o choque entre cristais de quartzo pode produzir breves flashes de luz amarela por outro efeito, a triboluminescência.

“Essas operações turísticas não são apenas viáveis, mas desejáveis como ferramentas de desenvolvimento local”, considera o biólogo José Sabino, diretor da Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos (BPBES), que pesquisa a relação entre ecoturismo e conservação no Pantanal. Ele nota que os requisitos para observar a bioluminescência – silêncio, controle rigoroso da iluminação e guias especializados – são os mesmos dos passeios de observação de aves noturnas, as chamadas corujadas. Para o pesquisador, as duas atividades poderiam ser facilmente combinadas, ampliando o potencial educativo e imersivo da experiência. “Transformar elementos pouco percebidos da biodiversidade em um ativo valorizado cria um incentivo concreto para a sua proteção.” ●

O projeto e o artigo científico consultados para esta reportagem estão listados na versão on-line.



Uma grande diversidade indígena

Estudo com genomas completos de todo o continente conta história mais detalhada do povoamento da América do Sul

MARIA GUIMARÃES

Os povos indígenas que habitam a América do Sul descendem de três ondas migratórias. A novidade é que uma delas, mais representada na população atual, veio da Mesoamérica por volta de 1.300 anos atrás, de acordo com estudo feito apenas por pesquisadores do continente. Isso revela uma maior complexidade na história dos povos nativos, com maior diversidade genética do que se antecipava. A pesquisa estampa a capa de uma edição de maio da revista científica *Nature*. “Chegamos a essas conclusões por meio de um trabalho muito intenso do ponto de vista de colaborações”, conta a geneticista Tábita Hünnemeier, do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo (IB-USP). Ela coordenou o estudo, no qual vem trabalhando há mais de uma década, e se surpreendeu com a diversidade genética mais alta do que esperava.

Foram 128 genomas sequenciados por inteiro, representando 45 povos de oito países latino-americanos – Argentina, Bolívia, Brasil, Colômbia, Equador, México, Paraguai e Peru –, e comparados a outras 71 sequências disponíveis em bancos de dados. A ideia foi estimar as afinidades genéticas entre todos os grupos indígenas americanos, levando em conta genomas antigos. A pesquisadora celebra a presença, entre os autores, da biomédica Putira Sacuena, da Universidade Federal do Pará (UFPA). “Ela foi a primeira mulher indígena a trabalhar com antropologia genética”, afirma. A colaboração indígena em estudos que dizem respeito aos povos nativos é considerada pelos pesquisadores uma novidade bem-vinda na busca por compreender essa história.

Esse trabalho acrescenta informações importantes sobre o que se sabe da colonização humana da América do Sul. A primeira onda migratória deixou registros com idades de até 12 mil anos na Lapa do Santo (ver Pesquisa FAPESP nº 247) e na gruta do Sumidouro, na região mineira de Lagoa Santa, e no Chile. Por volta de 9 mil anos atrás, mais uma migração deixou marcas distintas no registro genético e arqueológico, no Peru e na Argentina. Mas o Holoceno Médio, período entre 8 mil e 4,2 mil anos atrás, trouxe mudanças ambientais que prejudicaram ecossistemas e a disponibilidade de recursos, afetando também as populações humanas.

Os povos indígenas que hoje habitam o continente, em parte por isso, descendem também de indivíduos que chegaram cerca de 1.300 anos atrás a partir de onde agora é o México. Essa terceira onda, que não estava documentada até agora, é a grande novidade. As análises do DNA indicam também que após a chegada dos europeus no século XVI, os grupos indígenas se tornaram menos populosos e mais isolados uns dos outros. No tronco Tupi, o estudo detectou sinais de endocruzamento – quando a reprodução se dá entre grupos pequenos, sem possibilidades de migração – nos povos Sirionó, Suruí e Karitiana, indicando um colapso populacional provavelmente resultante de epidemias, escravização, perturbações nas possibilidades de subsistência e no conhecimento tradicional. É possível enxergar uma recuperação recente em algumas regiões da parte ocidental da América do Sul. A diversidade genética é maior na América Central e no Cone Sul.

Um enigma foi encontrar trechos genômicos muito antigos característicos da Australásia (Austrália e ilhas na região), de neandertais (da Europa) e de denisovanos (do leste asiático),

preservados no DNA sul-americano. A hipótese é de que esses genes antigos tenham um papel benéfico ainda desconhecido e foram mantidos por seleção natural. O foco do artigo era a diversidade e os percursos das populações, e não os aspectos funcionais, mas a identificação de regiões associadas à resposta imune, a traços cardiometabólicos, à fertilidade e a traços antropométricos sugere que estudos futuros podem explorar mais a fundo o papel da evolução humana no continente. De acordo com Hünemeier, os marcadores genéticos usados em pesquisas anteriores tinham sido desenhados a partir de populações europeias e africanas, e não eram adequados para entender a América. “Agora temos parâmetros.”

O importante – e que contraria algumas visões sobre os grupos nativos – foi documentar a permanência prolongada de grupos humanos em muitas áreas, com uma diversidade genética pronunciada. Isso indica a necessidade de uma representação mais completa desses povos em bancos genômicos globais. “O mundo inteiro dispunha de dados genômicos para contar a história de sua população, só o Brasil não tinha”, avalia o arqueólogo André Strauss, do Museu de Arqueologia e Etnologia (MAE) da USP, que não participou do estudo. Ele remete a um artigo publicado por ele em 2018 na revista *Cell*, sobre a história antiga da população sul-americana (ver Pesquisa FAPESP nº 273), que deixou um mistério no ar: se os povos de Lagoa Santa não eram os ancestrais diretos dos indígenas atuais, quem são esses ancestrais? “O artigo de agora confirma as duas levas migratórias anteriores e caracteriza a terceira.”

Strauss tem o objetivo de encontrar essa onda no registro arqueogenético. “Boa parte dos esqueletos que temos são mais antigos, há muito poucos dos grupos ceramistas”, explica ele. Um motivo é que as cavernas e os sambaquis são ambientes mais propícios à preservação dos esqueletos, enquanto em locais como a Amazônia eles se decompõem. Do que é possível contar a partir dos dados moleculares, há mais a caminho. “Já temos outras mil amostras sequenciadas”, afirma Hünemeier. “Entendemos que, para enxergar a diversidade da América e sua complexidade, o melhor é ter poucos indivíduos de muitas populações.” ●



Artigo foi capa de revista científica

Os projetos e o artigo científico consultados para esta reportagem estão listados na versão on-line.

Uma conexão entre a respiração

Neurônios ligados à expiração forçada se tornam hiperativos na apneia do sono e levam ao aumento da pressão arterial

MARIANA CECI

Uma conexão intrincada e profunda entre a respiração e a hipertensão arterial começa agora a ser mais bem compreendida graças ao trabalho de pesquisadores brasileiros. Em estudos com ratos, a equipe coordenada pelo fisiologista Davi Moraes, do Instituto de Ciências Biomédicas da Universidade de São Paulo (ICB-USP), verificou que uma região cerebral diminuta responsável pela expiração ativa ou forçada, aquela que exige a contração dos músculos do abdômen para eliminar com mais eficiência dos pulmões o ar rico em gás carbônico (CO₂), também influencia o controle da pressão sanguínea. Essa região é chamada de parafacial lateral (pFL), um pequeno conjunto de células – nos roedores, elas somam um pouco mais de 100 – localizado na parte anterior do bulbo, estrutura que lembra um cone de sorvete sem a metade inferior e conecta o cérebro à medula espinhal.

Há tempos se sabe que os neurônios desse núcleo, quando ativados, mobilizam a musculatura do abdômen na expiração ativa, ajudando o corpo a expulsar com mais intensidade o ar dos pulmões. Na expiração normal, o ar sai dos pulmões sem esforço, em consequência da elasticidade das estruturas do sistema respiratório, que tendem a voltar ao estado inicial após se expandir. Agora, usando técnicas que permitem mapear as conexões e medir a atividade dos neurônios da região pFL, os pesquisadores constataram que uma parte deles se comunica com neurônios de outras duas regiões próximas – uma em posição ligeiramente mais interna, no bulbo ventrolateral rostral (RVLM), e outra situada a centímetros acima, em uma estrutura chamada ponte – responsáveis por disparar os comandos nervosos que fazem as artérias se contraírem e a pressão sanguínea aumentar (*ver infográfico na página 56*).

“Mostramos agora que os neurônios da região parafacial lateral têm uma função dupla.





e a hipertensão

Eles ativam os músculos que levam à expiração forçada ao mesmo tempo que ativam áreas no bulbo e na ponte responsáveis pela contração da musculatura das artérias”, conta Moraes.

Apresentados em um artigo publicado na edição de janeiro na revista *Circulation Research*, os achados, segundo os pesquisadores, ajudam a entender como a apneia obstrutiva do sono, marcada por interrupções momentâneas na respiração enquanto se dorme, contribui para o surgimento da hipertensão arterial. Também abrem o caminho para a busca de estratégias para controlar a pressão arterial diferentes das atuais. As medicações disponíveis hoje atuam de três formas – reduzem a força ou a frequência dos batimentos cardíacos, ajudam a diminuir o volume de sangue ou relaxam os vasos sanguíneos. Esses anti-hipertensivos, no entanto, não funcionam para cerca de 40% das pessoas com pressão arterial elevada, problema que afeta um em cada três brasileiros adultos e aumenta o risco de acidente vascular cerebral e de doenças cardíacas.

No trabalho da *Circulation Research*, feito em parceria com a equipe do fisiologista Benedito Honorio Machado, da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto (FMRP) da USP, os pesquisadores usaram um modelo que simula a apneia do sono humano para induzir a hipertensão em ratos. Durante cerca de oito horas por dia, os animais eram expostos de tempos em tempos a uma atmosfera com baixa concentração (6%) de oxigênio (O_2) – no ar, ela é de 21%.

A redução na disponibilidade de O_2 imita o que ocorre na apneia durante o sono, quando interrupções momentâneas e recorrentes na respiração impedem a chegada de ar aos pulmões. Como resultado, os batimentos cardíacos aumentam e os vasos sanguíneos se contraem, fazendo o sangue circular mais intensamente pelos tecidos na tentativa de compensar a redução na disponibilidade de O_2 , gás essencial para o funcionamento das células.

Em situações normais, os pulmões, o coração e os vasos sanguíneos atuam de forma coordena-

da levando níveis adequados de O₂ aos diferentes tecidos e retirando deles o CO₂ gerado pelas células ao desempenhar suas diferentes funções. Essa coordenação é regida por um pequeno sensor químico: o corpúsculo carotídeo, uma estrutura do tamanho de um grão de amendoim situada no pescoço, ao lado da carótida, a artéria que irriga o cérebro. Reduções no nível de O₂ ou aumentos na concentração de CO₂ no sangue ativam neurônios do corpúsculo que se conectam diretamente com o bulbo, onde estão os centros de controle involuntário (automático) da respiração, dos batimentos cardíacos e da contração dos vasos sanguíneos.

No início dos anos 1970, o fisiologista brasileiro Pedro Guertzenstein (1938-1994), trabalhando com o fisiologista de origem alemã Wilhelm Feldberg (1900-1993), havia observado que a atividade do RVLM era fundamental para regular a pressão arterial. Não havia, no entanto, clareza de como os sinais do corpúsculo carotídeo chegavam até o RVLM nas situações em que o O₂ baixava.

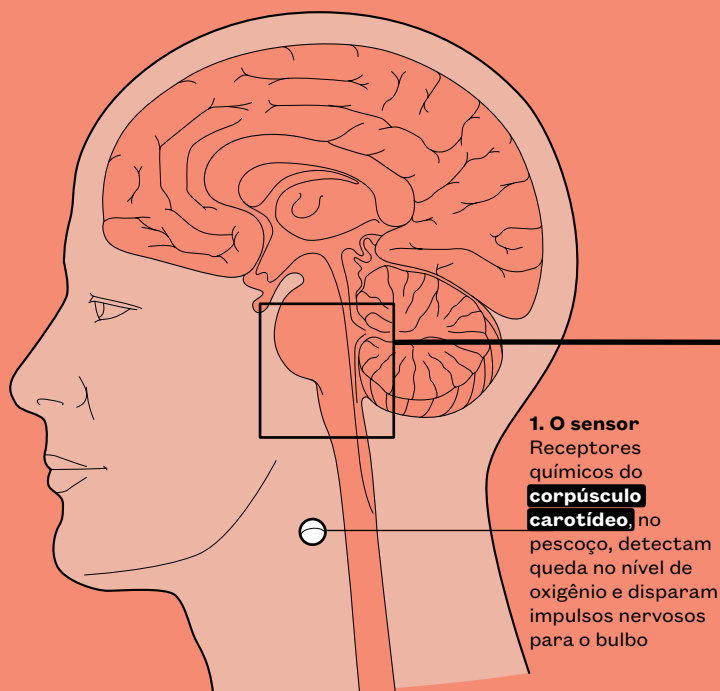
Moraes e colaboradores suspeitavam que a região pFL pudesse funcionar como um intermediador dos sinais. É que seus neurônios se encontram em repouso durante a respiração normal, mas são acionados na expiração ativa,

justamente a fase da respiração em que o RVLM envia os sinais nervosos que ajustam a contração dos vasos sanguíneos.

A fim de descobrir o papel desse núcleo, os pesquisadores realizaram uma série de experimentos com ratos ao longo de quase sete anos. Em um deles, usaram um vírus inofensivo aos animais para inserir nos neurônios da região pFL o gene codificando uma proteína que os tornava sensíveis à luz. Depois, usando um laser, os pesquisadores ativavam esses neurônios por alguns instantes, simulando o que ocorre quando os níveis de O₂ caem e os de CO₂ aumentam momentaneamente ao se prender a respiração por alguns instantes ou realizar atividade física intensa a ponto de tirar o fôlego. Ao despertar os neurônios da região pFL com a luz, os pesquisadores observaram a mobilização dos músculos abdominais acionados na expiração ativa ao mesmo tempo que detectaram um aumento da atividade dos neurônios do RVLM e da ponte responsáveis pela contração dos vasos sanguíneos. Como resultado, a pressão arterial dos animais aumentou. Ela voltou a baixar quando os neurônios da região pFL eram silenciados.

Uma forma de controle da pressão

Neurônios do bulbo que ativam os músculos abdominais na expiração forçada também controlam a contração das artérias

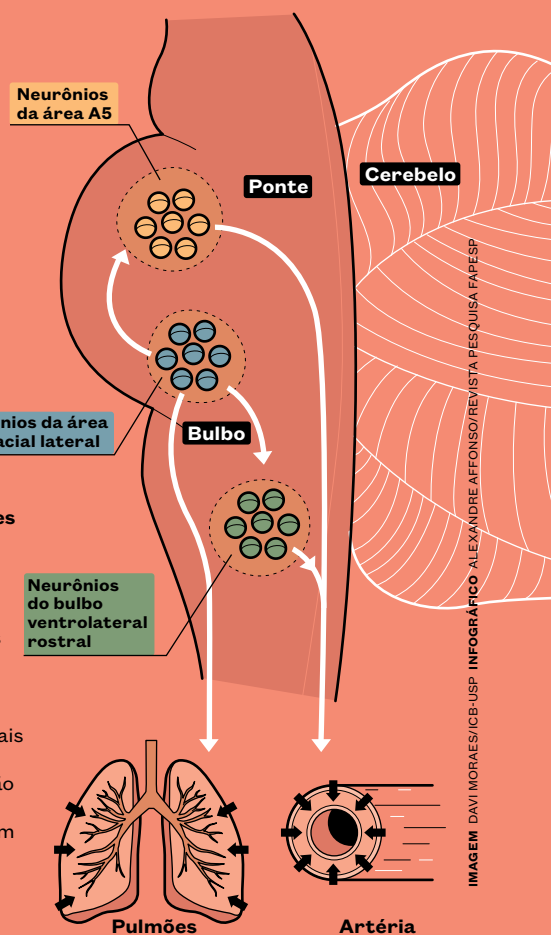


1. O sensor
Receptores químicos do **corpúsculo carotídeo**, no pescoço, detectam queda no nível de oxigênio e disparam impulsos nervosos para o bulbo

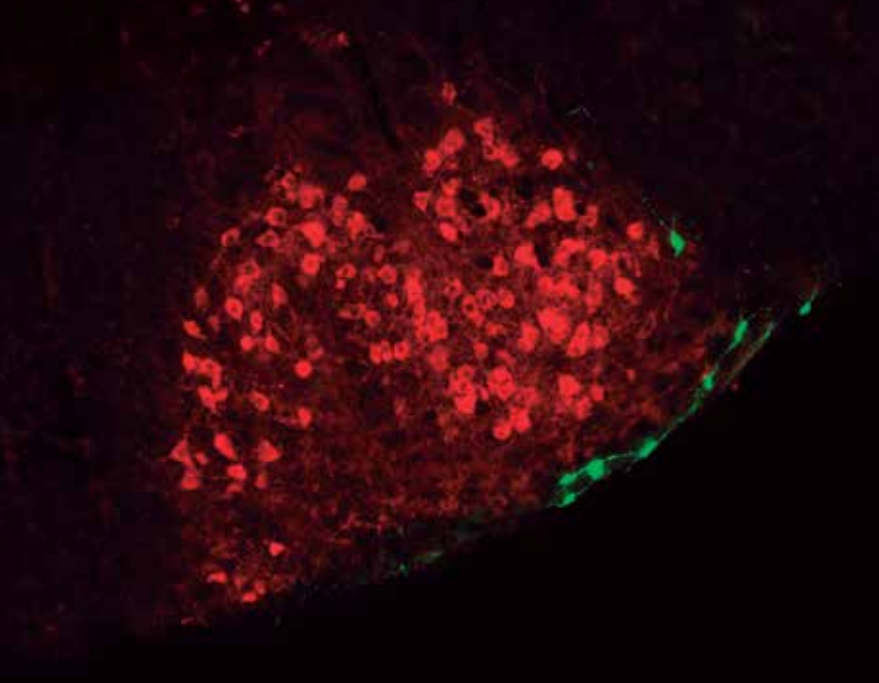
2. O intermediário
Neurônios da área parafacial lateral recebem os sinais, enviam comandos para os músculos do abdômen, e também os repassam às células do bulbo ventrolateral rostral e da área A5

3. Os retransmissores
Neurônios do bulbo ventrolateral rostral e da área A5 enviam comandos para os músculos das artérias

4. O efeito
Os músculos abdominais se contraem, aumentando a expulsão do ar dos **pulmões**, e as **artérias** diminuem de calibre, elevando a pressão sanguínea



A imagem de microscopia do bulbo de um rato mostra, em verde, os neurônios da área parafacial lateral, que controlam a respiração ativa e os níveis da pressão arterial



A seguir, os pesquisadores decidiram investigar o que aconteceria com o organismo se os neurônios da região pFL fossem recrutados repetidamente. “Queríamos saber se essa interação que normalmente é fisiológica, em certas condições, poderia se tornar prejudicial e contribuir para o surgimento da hipertensão”, lembra a fisiologista Karolyne Magalhães, primeira autora do artigo na *Circulation Research*, que realizou os experimentos durante o doutorado feito sob a orientação de Moraes – hoje ela faz pós-doutorado na Universidade de Alberta, no Canadá.

Para isso, usaram um modelo de ativação mais duradoura dos neurônios da região pFL. Novamente com o auxílio dos vírus, eles modificaram essas células para que apresentassem em sua superfície uma proteína (receptor) que funcionava como um botão de liga e desliga. Ao se conectar a esse receptor, a molécula de clozapina, um medicamento usado para tratar esquizofrenia, mantinha os neurônios da região pFL em atividade por horas, e não mais por alguns instantes. Desse modo, conseguiram simular o que deve ocorrer na região pFL na apneia do sono.

A ativação prolongada aumentou a expiração forçada e elevou a pressão arterial, sem alterar de forma relevante a frequência cardíaca. Esse resultado reforçou a ideia de que os neurônios da

região pFL não apenas participam da expiração ativa, mas também acionam os circuitos do bulbo e da ponte que causam vasoconstrição e fazem a pressão arterial subir. “Quem sofre de apneia do sono experimenta de forma crônica, ao longo de 7 ou 8 horas por dia, episódios intermitentes de baixa concentração de O₂ no sangue e a consequente ativação dos neurônios do pFL”, explica Moraes. “O resultado é que esses neurônios se tornam ativos de modo duradouro, como se entendessem que o indivíduo vive em situação de hipóxia [baixa oxigenação] permanente.”

Na etapa seguinte, fez-se o caminho inverso: em ratos com hipertensão induzida por hipóxia intermitente e crônica, os pesquisadores alteraram os neurônios da região pFL para que se tornassem inativos na presença de clozapina. A ideia era verificar se a inibição desses neurônios diminuiria a atividade do RVLM e da ponte, fazendo baixar a pressão arterial.

Funcionou. A inibição sustentada da região pFL reduziu a expiração ativa e normalizou a pressão arterial nos animais hipertensos. Nos ratos sem hipertensão, que integravam o grupo de controle do estudo, não houve mudança. Esse resultado sugere que o circuito fica especialmente ativo apenas na hipertensão.

“As células caracterizadas pela equipe da USP parecem funcionar como intermediários e transmitir os comandos que recebem do sensor químico de gases do sangue para os circuitos que controlam a contração dos vasos sanguíneos”, comenta o fisiologista Sergio Cravo, da Escola Paulista de Medicina da Universidade Federal de São Paulo (EPM-Unifesp), que não participou do artigo. “É um elemento neural novo, diferente de alguns mecanismos sensíveis ao gás carbônico que já conhecíamos”, completa.

O achado abre caminho para que se busquem novas estratégias farmacológicas para combater a hipertensão. Antes, porém, são necessários mais estudos. “Essa é uma pesquisa básica com características translacionais. É possível que, futuramente, se consiga usar o que se observou nos experimentos com animais para tratar pessoas com hipertensão”, conta o fisiologista Ruy Ribeiro de Campos, também da EPM-Unifesp, que foi orientado por Guertzenstein no doutorado. “Antes disso, no entanto, será necessário conhecer melhor as características das células da região estudada pelos autores e testar o seu papel em outros modelos de hipertensão”, conclui. ●

Os projetos e o artigo científico consultados para esta reportagem estão listados na versão on-line.



O impacto de taxar os ultraprocessados

Cobrar mais imposto desse grupo de alimentos pode reduzir a ocorrência de doenças crônicas e de mortes associadas ao excesso de peso

GISELLE SOARES

Mantido no ritmo atual, o ganho de peso da população adulta brasileira deve levar ao surgimento de 10 milhões de novos casos de 11 doenças crônicas evitáveis entre 2024 e 2044. São enfermidades comuns e bem conhecidas, como diabetes, hipertensão, doenças cardiovasculares e alguns tipos de câncer, que se instalam mais facilmente e com maior frequência quando a massa corporal do indivíduo permanece superior à saudável por alguns anos. Nessas duas décadas, estima-se que a proporção de adultos com sobrepeso – índice de massa corporal (IMC) entre 25 e 29 – no país passe dos 57% atuais para 75% e ocorra pouco mais de 1 milhão de mortes em decorrência desses problemas.

Diante desse cenário, o epidemiologista Leandro Rezende e sua equipe na Universidade Federal de São Paulo (Unifesp) decidiram simular o impacto que a imposição de taxas a alimentos pouco saudáveis poderia gerar na saúde da população. Eles escolheram trabalhar com os chamados ultraprocessados, categoria genérica de alimentos industrializados aos quais são adicionados altos teores de açúcar, gordura, sal ou compostos químicos com a finalidade de aumentar sua durabilidade ou palatabilidade (ver Pesquisa FAPESP nº 265). O consumo desses alimentos cresceu

no país – a proporção de calorias obtidas de ultraprocessados subiu de 16% em 2003 para 20% em 2018 –, embora permaneça bem abaixo do de nações como os Estados Unidos, onde ultrapassa os 50% das calorias ingeridas diariamente.

Cobrar mais pelos ultraprocessados gera um efeito relevante, que aumenta com o incremento da taxação. Impor uma taxa de 10% sobre o valor desses alimentos pode, nesses 20 anos, restringir a 67% o total de adultos com sobrepeso em 2044, evitando quase 526 mil casos novos das doenças associadas ao sobrepeso e 71 mil mortes. Com 20% de aumento, a parcela de brasileiros com sobrepeso cairia um pouco mais, para 63%. Seriam evitados 861 mil casos de doenças crônicas e 115 mil óbitos. Já se a taxação chegasse a 50% do valor dos alimentos, a frequência de sobrepeso na população baixaria para 50% em 2044, prevenindo 1,8 milhão de adoecimentos e 237 mil mortes (ver tabela na página ao lado) Os resultados foram publicados em abril no periódico *American Journal of Preventive Medicine*.

“Nosso estudo avança em relação a trabalhos anteriores ao estimar o potencial impacto da tributação do conjunto dos alimentos ultraprocessados, e não de itens isolados, como as bebidas açucaradas”, conta Rezende, coordenador do estudo e do Núcleo de Pesquisa em Epidemiologia de Doenças Crônicas da Unifesp. “A maior parte das políticas e

dos estudos se concentra em produtos específicos, mas o efeito da alimentação sobre a saúde depende do padrão alimentar geral. Por isso, ações voltadas ao conjunto dos ultraprocessados tendem a ter um potencial maior de impacto na redução do excesso de peso e das doenças crônicas”, explica.

Só a taxação de ultraprocessados, no entanto, pode não resolver o problema e até reduzir o poder de compra. Em um estudo divulgado em março, o economista Valter Palmieri Júnior, da organização não governamental ACT Promoção da Saúde, que defende políticas de saúde pública como a alimentação saudável, analisou o comportamento e a composição da inflação de alimentos no Brasil nas últimas quatro décadas. A conclusão é que o aumento do preço dos alimentos no país é um fenômeno estrutural e sistêmico, e não ocasional, relacionado a problemas conjunturais.

“Nas últimas duas décadas, a inflação de alimentos manteve-se consistentemente acima da inflação geral. Esse aumento, porém, não ocorre de forma homogênea entre os diferentes tipos de alimentos”, escreve Palmieri no documento. “Produtos *in natura* ou minimamente processados têm registrado elevações de preço mais intensas do que os ultraprocessados. Esse padrão é preocupante, pois o consumo de ultraprocessados está associado ao aumento de doenças crônicas.”

No Brasil, produtos *in natura* ou minimamente processados têm registrado elevações de preço mais intensas do que os ultraprocessados



De acordo com o trabalho, entre 2006 e 2026, o poder de compra para frutas, por exemplo, caiu cerca de 31%. “Esse movimento altera os incentivos econômicos de consumo e tende a piorar a qualidade da dieta”, afirmou o economista em comunicado à imprensa divulgado pela *Agência de Notícias Bori*.

“Os efeitos da taxação de alimentos sobre o sobrepeso e a ocorrência de doenças crônicas são plausíveis, mas tendem a ser maiores quando combinados com outras políticas públicas, como a regulação da publicidade, a educação alimentar e a criação de ambientes que favoreçam a escolha de alimentos mais saudáveis”, afirma a epidemiologista Eurídice Martínez Steele, do Núcleo de Pesquisas Epidemiológicas em Nutrição e Saúde da Universidade de São Paulo (Nupens-USP), que não participou do estudo publicado no

American Journal of Preventive Medicine. “A resposta ao aumento de preços não é fixa e depende das condições sociais e do ambiente alimentar. Sem políticas complementares, como subsídios a alimentos *in natura*, a taxação pode ter efeito limitado ou até gerar resultados indesejados, caso não existam substitutos saudáveis acessíveis”, pondera a pesquisadora.

A avaliação de Steele é compartilhada por Helen Hermansdorff, nutricionista e professora do Departamento de Nutrição e Saúde da Universidade Federal de Viçosa (UFV), que também não participou do trabalho da equipe da Unifesp. “A taxação pode ajudar no enfrentamento das doenças crônicas, mas não

resolve o problema sozinha. O sobrepeso e a obesidade envolvem fatores biológicos, sociais e econômicos, o que exige um conjunto mais amplo de políticas públicas. É importante retirar do indivíduo a responsabilidade exclusiva pelo enfrentamento da obesidade e reconhecer que as escolhas alimentares dependem de políticas públicas que tornem as opções saudáveis mais acessíveis”, afirma.

No Brasil, a reforma tributária aprovada em 2023 criou o chamado imposto seletivo, que entra em vigor a partir de janeiro próximo e deve taxar apenas uma parte dos ultraprocessados: as bebidas açucaradas, que incluem refrigerantes, sucos industrializados e chás prontos com açúcar. ●

O artigo científico consultado para esta reportagem está listado na versão on-line.

Efeito progressivo

Quanto maior o tributo cobrado, maior o número de casos de 11 doenças crônicas e de óbitos evitados

	Sexo	Cenário 1 (10% de taxação)	Cenário 2 (20% de taxação)	Cenário 3 (50% de taxação)
Casos evitados ou adiados	Homens	280.513	458.503	946.809
	Mulheres	245.163	403.062	842.869
	Total	525.676	861.565	1.789.678
Mortes evitadas ou adiadas	Homens	44.273	72.165	147.641
	Mulheres	26.426	43.218	89.249
	Total	70.699	115.383	236.890

FONTE: CAMARGO, J. M. ET AL. AMERICAN JOURNAL OF PREVENTIVE MEDICINE. ABR. 2026

Histórias de um fio de cabelo

Mapeamento microscópico mostra como danos causados por descoloração e irradiação ultravioleta mudam as propriedades de superfície dos filamentos

IGOR ZOLNERKEVIC

Pegue um fio de cabelo saudável com as mãos e tente amassá-lo sem danificar sua superfície. “É quase impossível deformá-lo por compressão”, diz o químico Raphael Machado. Ao longo de seu estágio de pós-doutorado no grupo da física Maria Cecília Salvadori, da Universidade de São Paulo (USP), o pesquisador aprendeu a apreciar a surpreendente resistência desse material biológico, comparável à de fibras sintéticas como o náilon. Também constatou como a rigidez de fios de cabelos humanos naturalmente expostos à luz solar ao longo da vida pode ser reduzida em até seis vezes, depois de uma aplicação de um pó descolorante com água oxigenada.

Usando diferentes técnicas de microscopia, Machado produziu uma série de imagens mostrando as propriedades da superfície de fios de cabelo, com uma resolução de até cerca de 60 nanômetros (nm), mais de mil vezes menor do que a própria espessura do filamento. A análise desses mapas microscópicos ajudou a entender melhor como os danos pro-

vocados pela descoloração e a radiação ultravioleta [UV] alteram o relevo e a composição química dos fios em posições anatômicas diferentes ao longo da mecha e transformam um material naturalmente hidrofóbico – isto é, que repele a água – em seu oposto, hidrofílico, que “gosta” do líquido. Absorvendo mais água, o cabelo enfraquece sua estrutura e se torna mais quebradiço. Os resultados da pesquisa, publicados em março na revista *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, podem ajudar no desenvolvimento de novos tratamentos.

Fios de cabelo têm uma espessura média de cerca de 100 mil nm, embora existam grandes variações entre populações distintas. Assim como as unhas, são um tecido morto formado principalmente pela proteína queratina. Sua estrutura mais interna é uma pequena região central denominada medula, que é envolvida pelo córtex, camada intermediária que corresponde a cerca de 85% da massa dos cabelos. Os fios nascem do couro cabeludo com o córtex totalmente coberto pela cutícula, estrutura externa que forma uma armadura de escamas de queratina

mais compacta e organizada. Por sua vez, a cutícula é recoberta por uma fina camada de gordura, com espessura da ordem de 1 nm, composta pelo ácido 18-metileicosanoico (18-MEA), que se liga a átomos de enxofre da queratina, deixando a porção hidrofóbica da molécula voltada para fora. A aversão natural dos fios à água decorre sobretudo dessa camada, mas também dos espaços criados pelos degraus entre as escamas da cutícula, que reduzem a área de contato com a água.

Durante a descoloração, os reagentes removem o 18-MEA, rompendo sua ligação com a queratina. Ao mesmo tempo, a oxidação degrada a queratina, produzindo moléculas com hidroxilas, carboxilatos e sulfonatos, que atraem água em vez de repeli-la. Enfraquecidas por microfissuras, as escamas da cutícula podem se quebrar e se desprender, expondo o córtex à ação química e à água.

A radiação UV induz reações semelhantes: erode a camada de 18-MEA e também forma moléculas hidrofílicas. Esse processo ocorre de forma mais gradual e localizada, criando pequenos poros na cutícula que podem acelerar os danos causados pela descoloração. Todo esse dano é mais intenso nas pontas dos fios, onde a cutícula já se encontra naturalmente desgastada pelo envelhecimento. “As pontas guardam um histórico de tudo a que elas foram expostas desde o último corte de cabelo”, conta Machado.

As mechas analisadas por Machado foram preparadas pela equipe do far-

macêutico Flávio Camargo Júnior, gerente de terapia capilar e testes clínicos da Chemyunion, uma indústria química brasileira que vende, no país e no exterior, ingredientes para produtos cosméticos, farmacêuticos e de outros setores. Desde 2016, o Laboratório de Filmes Finos do Instituto de Física da USP, coordenado por Salvadori, presta serviços de microscopia à Chemyunion, que financiou o estudo. A colaboração rendeu sua primeira pesquisa científica em 2021, quando a física Raissa de Oblitas defendeu seu doutorado, orientado por Salvadori, mostrando que uma das fórmulas da empresa foi capaz de penetrar na cutícula e melhorar a resistência dos fios. Durante o processo, Oblitas criou um método mais preciso que o convencional para calcular o chamado módulo elástico, que mede o quão rígido é um material, a partir de imagens de microscopia de força atômica.

Assim como a agulha de uma vitrola extrai música ao subir e descer sobre os pequenos sulcos de um disco de vinil, a ponta nanométrica de um microscópio de força atômica pode se aproximar e se afastar de uma superfície milhares de vezes por segundo, registrando forças de atração e repulsão entre os átomos. “A cada ciclo de aproximação e retração medimos cinco grandezas: topografia da superfície,

módulo elástico, deformação, adesão e energia dissipada”, explica Machado. “A adesão, a capacidade de grudar mais ou menos, é a propriedade mais sensível às interações intermoleculares e à composição química superficial.”

Os mapas de adesão revelaram que a descoloração elimina a variedade natural de moléculas da queratina, deixando no lugar uma superfície mais homogênea, dominada pelos sulfonatos e até cinco vezes mais adesiva nas pontas dos fios. Machado validou a composição química inferida pela adesão utilizando um microscópio eletrônico de varredura.

O estudo foi o primeiro a usar uma técnica de análise de dados conhecida como densidade espectral de potência para medir a rugosidade da superfície dos fios. “Foi difícil encontrar um revisor adequado para o artigo, porque não se utiliza normalmente essa ferramenta analítica para estudar fibras capilares”, lembra Salvadori.

A técnica traduz a informação espacial das imagens em gráficos de distribuição de frequências, analisando como a rugosidade está distribuída na superfície dos fios. Os gráficos mostraram que, em fios virgens, predominam frequências mais baixas, dado que indica a presença de feições de relevo maiores, como as bordas das escamas. Por outro lado, em fios descoloridos e irradiados se destacam frequências mais altas, apontando variações no relevo em escala menor, criadas pelos poros e fissuras que tornam a superfície mais áspera, propensa a reter água.

“Os resultados são muito interessantes”, comenta a cientista de materiais Valéria Longo, fundadora e diretora de ciência e inovação da startup Katléia Lab, que não participou do estudo. Criada em São Carlos (SP), a Katléia desenvolve, por meio de um projeto financiado pela FAPESP na modalidade Pesquisa Inovativa em Pequenas Empresas (Pipe), um diagnóstico capilar personalizado. Segundo Longo, analisar a cutícula, a estrutura mais externa dos fios, é importante para entender a interação do cabelo com os cosméticos. Para um diagnóstico ainda mais aprofundado da saúde dos fios, a pesquisadora diz ser necessário um estudo de todo o córtex capilar. ●

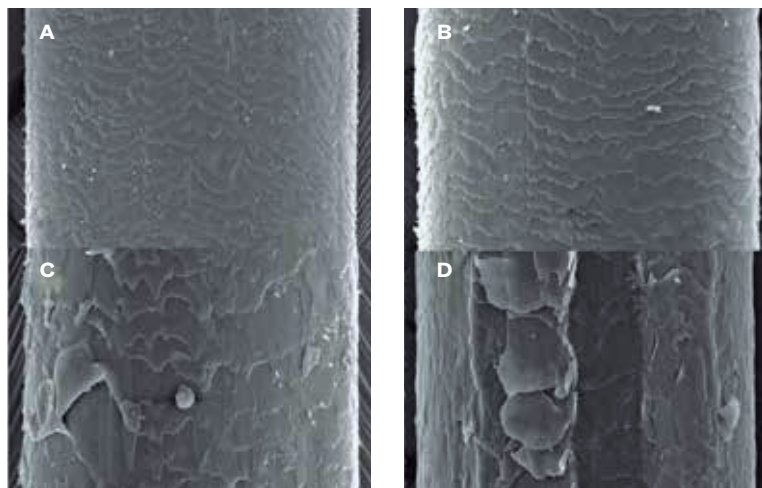
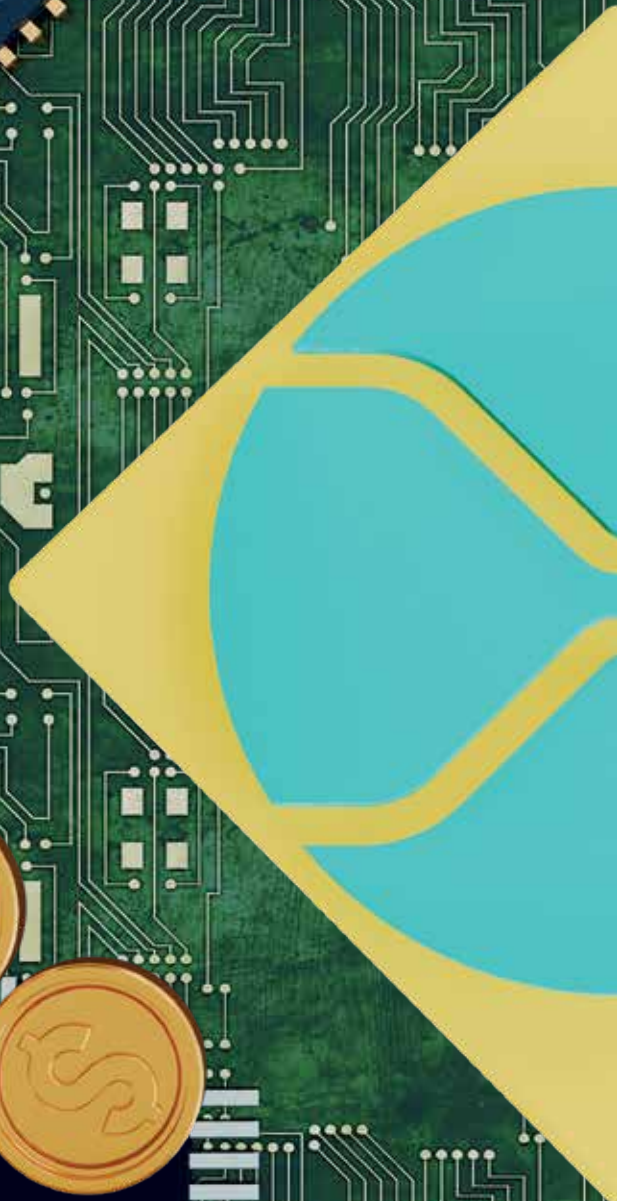
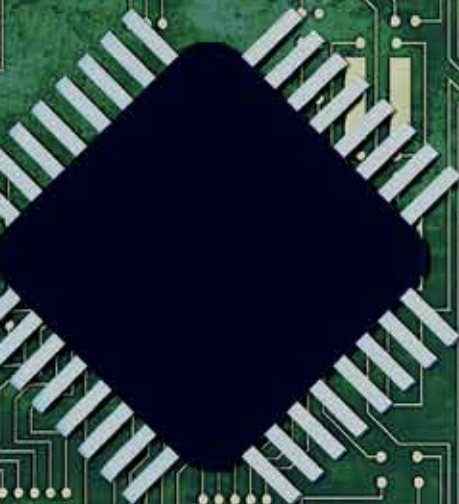


Imagem de microscopia eletrônica de varredura da raiz de fio de cabelo humano em quatro diferentes condições: natural e preservado (A); natural, com poucos sinais de alterações (B); descolorido, com alguma deterioração (C); e descolorido, envelhecido e com danos químicos (D)

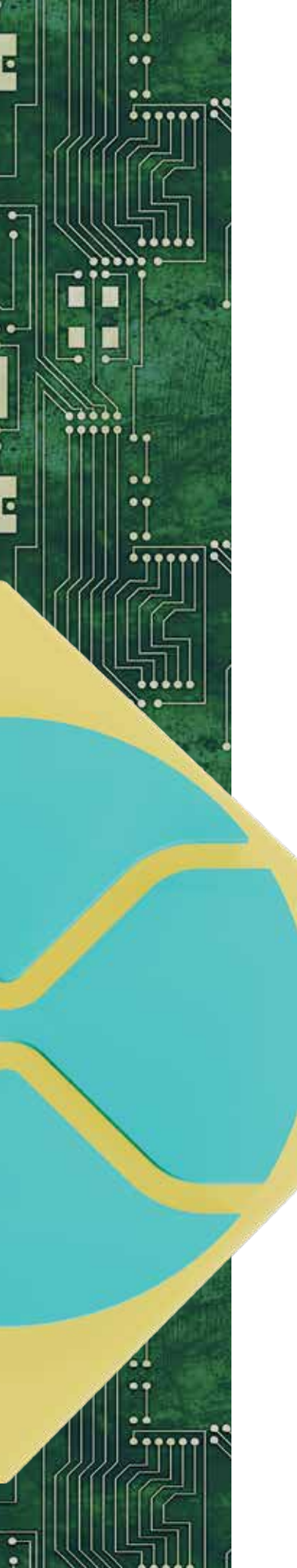
O artigo científico consultado para esta reportagem está listado na versão on-line.

INOVAÇÃO



Banco do futuro





Inteligência artificial, *open finance* e computação quântica moldam as novas ferramentas que estão transformando o sistema financeiro nacional

DOMINGOS ZAPAROLLI — ilustrações ALEXANDRE AFFONSO

Ainda este ano, uma versão digital do real, a moeda nacional, será disponibilizada aos brasileiros. O desenvolvimento dessa inovação financeira, batizada de Drex, vem sendo conduzido pelo Banco Central do Brasil. No mundo, dezenas de países elaboram suas versões de moeda digital de banco central (CBDC, de Central Bank Digital Currency), sendo que China, Bahamas, Nigéria e Jamaica estão entre pioneiras no uso de moedas criptografadas oficiais, lançadas por esses países em 2024. A proposta do Drex, contudo, diferencia-se das CBDC em uso. O Banco Central quer disponibilizar não apenas uma moeda digital, mas uma plataforma de transações financeiras seguras. “O Drex é inovador. A principal inspiração é o ambiente de finanças descentralizadas [DeFi, de *decentralized finance*]”, diz o economista e engenheiro eletricitista Fabio Araujo, coordenador do projeto Drex no Banco Central.

O DeFi funciona como uma plataforma independente, em que os usuários realizam transações entre si, sem a intermediação de governos, bancos ou corretoras. Para isso, utiliza a tecnologia *blockchain*, um registro digital imutável, criptografado, que pode ser compartilhado de forma descentralizada, como ocorre com as criptomoedas (ver glossário na página 64). “Queremos trazer para o ambiente regulado os desenvolvimentos que estão acontecendo em DeFi, que se encontram majoritariamente ao largo da regulação”, detalha Araujo.

Entre as inovações em DeFi que o Banco Central planeja incorporar ao Drex estão os contratos inteligentes, um sistema que executa transações automaticamente quando condições específicas são atendidas. Um exemplo é a transferência de titularidade de um imóvel ou de um veículo de forma sincronizada com o pagamento. Outra inovação é a tokenização de ativos, ou seja, a conversão de ativos físicos, como títulos públicos, imóveis e outros bens materiais, em uma unidade de valor digital, um token, que pode servir como garantia rastreável de empréstimos.

A meta do Banco Central é lançar uma versão-piloto do Drex em 2026, que permita a ampliação de suas funcionalidades disponíveis ao longo do tempo. Para isso, o desenvolvimento da moeda digital ainda precisa superar desafios importantes, admite Araujo, como avançar em requisitos de segurança e de escala. Será preciso também adaptar serviços financeiros distintos para operação em conjunto, de forma integrada e harmoniosa, independentemente de suas diferentes estruturas tecnológicas.

O Drex é resultado de uma estratégia de inovação aberta. No seu desenvolvimento, o Banco Central teve a colaboração de instituições financeiras, entidades públicas – como a Comissão de Valores Mobiliários – e instituições acadêmicas, como o Instituto de Tecnologia de Massachusetts, a Universidade Federal do Rio de Janeiro, a Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, a Fundação Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações e o Instituto de Tecnologia e Sociedade do Rio de Janeiro.

Glossário



CBDC

Versão digital da moeda de um país, sendo uma criptomoeda emitida de forma oficial



Criptomoeda

Moeda digital protegida por criptografia baseada em tecnologia *blockchain*



Blockchain

Banco de dados descentralizado em que as informações são gravadas em blocos que estão ligados entre si por meio de correntes criptografadas com o objetivo de impedir fraudes. Permite segurança na transferência, no registro e rastreamento de informações digitais



DeFi

Conjunto automatizado de serviços financeiros que usam o ecossistema *blockchain* e não estão sujeitos ao controle de instituições públicas e privadas



Contratos inteligentes

Sistema computacional que executa operações automaticamente quando condições predefinidas são atingidas



Tokenização

Transformação de ativos físicos – imóveis, ações ou obras de arte, por exemplo – em representações digitais chamadas tokens, registrados em uma rede *blockchain*



Open finance

O sistema financeiro aberto é a posse dos dados financeiros pelo correntista, que pode compartilhar as informações sobre suas contas, cartões, empréstimos, investimentos e seguros com as instituições que desejar e, com isso, obter melhores condições na contratação de produtos financeiros



SDLC

Processo usado para projetar softwares de alto desempenho composto por fases específicas: planejamento, análise, design, desenvolvimento, testes, implementação e manutenção



Agentes de IA

Sistemas capazes de perceber o ambiente, processar informações e agir de forma autônoma para atingir objetivos predefinidos



Criptografia pós-quântica

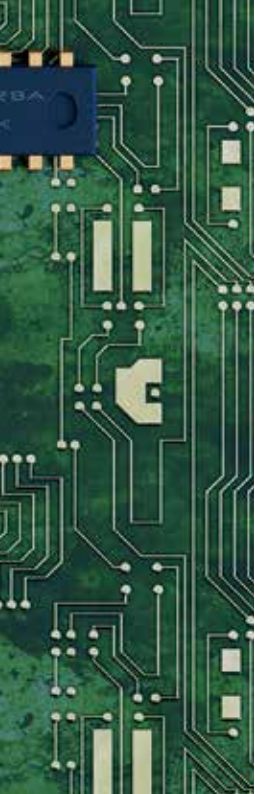
Sistemas projetados com algoritmos capazes de resistir a ataques dos computadores quânticos do futuro, que, acredita-se, serão capazes de superar com facilidade os sistemas de criptografias atuais



A moeda digital do Banco Central compõe um conjunto de iniciativas de base tecnológica criadas pela instituição que causaram grande impacto no sistema financeiro nacional. Uma delas é o Pix, sistema de pagamentos instantâneos disponibilizado 24 horas por dia, sete dias por semana, lançado em 2020. Mais de 170 milhões de pessoas físicas estão cadastradas no Pix, cerca de 80% da população do país. Em janeiro, foram realizadas mais de 7 bilhões de transações por essa modalidade, que movimentaram R\$ 3,16 bilhões.

“Por volta de 60 países têm sistemas de pagamentos instantâneos em operação, sendo que alguns deles, como o da Coreia do Sul e o de Hong Kong, já estão em operação há mais de duas décadas”, diz Araujo. “Nenhum teve uma adoção tão rápida e abrangente quanto o Pix.” Dois fatores foram decisivos para a grande adesão dos brasileiros à inovação: a gratuidade das transações para as pessoas físicas e a facilidade operacional. O uso de chaves de identificação e QR Code dispensou o usuário de digitar o banco, a agência e a conta do destinatário dos recursos.

Outra iniciativa do Banco Central viabilizada pelo uso de tecnologia é o *open finance*, ou sistema financeiro aberto, lançado em 2021. Nele, o cliente, e não as instituições, tem o controle dos dados relativos a suas contas bancárias, investimentos, contratação de seguros e previdência, e pode, se desejar, compartilhar de forma digital as informações entre diferentes instituições.



O Brasil foi um dos primeiros a implementar o *internet banking* e o *mobile banking*

Antes, os bancos não disponibilizavam os dados cadastrais e histórico de movimentações de seus clientes para outras instituições.

Com o *open finance*, o correntista pode permitir que uma gestora de investimentos acesse seus dados cadastrais e histórico no banco no qual é correntista e ofereça produtos financeiros com taxas de retorno mais atraentes do que as disponibilizadas pelo banco de origem. O cliente também pode usar seu histórico para negociar empréstimos com várias instituições de crédito, obter melhores condições na contratação de seguros ou realizar uma transferência de Pix por uma instituição usando o saldo constante em outro banco.

Em janeiro, 128 milhões de correntistas já haviam aderido ao *open finance* no Brasil. O Reino Unido foi o pioneiro, com a adoção em 2018 de um sistema de *open banking*, uma plataforma mais restrita, limitada ao compartilhamento de informações entre bancos e sem a participação de instituições gestoras de investimentos, seguradoras e empresas de crédito. Brasil e Austrália possuem os sistemas mais completos, que abrangem um maior número de serviços financeiros, e se tornaram referência internacional. União Europeia, Estados Unidos, México e Índia lançaram plataformas de *open banking* e agora migram para modelos de *open finance*.

SEMPRE NA VANGUARDA

Nos últimos 50 anos, o Brasil tem se posicionado entre os líderes globais de desenvolvimento e adoção de tecnologias bancárias. Na década

de 1980, os bancos brasileiros investiram em automação como forma de ganhar eficiência para fazer frente a um processo de hiperinflação que fazia o dinheiro perder valor rapidamente. Em um cenário como esse, é preciso agilizar as transações para serem prontamente processadas. O país foi um dos primeiros a ter agências conectadas em tempo real, permitindo que um depósito feito em uma agência bancária de uma cidade qualquer aparecesse no mesmo dia no saldo do cliente beneficiário.

Também nos anos 1980 surgiram os caixas eletrônicos, que usavam hardware e software desenvolvidos pelas próprias instituições bancárias do país. Nos anos seguintes, os bancos brasileiros investiram em biometria e chips de cartão muito antes de instituições europeias ou norte-americanas.

O Brasil foi, ainda, um dos pioneiros na implementação de *internet banking* e, na sequência, do *mobile banking* (sistema para smartphones). Segundo a Federação Brasileira de Bancos (Febraban), 82% das transações bancárias no país foram realizadas por canais digitais em 2024. Como consequência, o número de agências bancárias no país caiu de 22,8 mil para 14,3 mil nos últimos 10 anos.

A disponibilidade de tecnologia bancária de ponta e as oportunidades transacionais surgidas com o *open finance* impulsionaram as fintechs no Brasil, que somam 1.481 startups, de acordo com a Associação Brasileira de Fintechs (ABFintechs). O aumento da concorrência, por sua vez, estimulou os grandes bancos a inovar. A estimativa da Febraban é que o orçamento dos bancos brasileiros em despesas e investimentos destinados à tecnologia somaram R\$ 47,8 bilhões em 2025, valor 58% superior ao verificado cinco anos antes. Os recursos são destinados a desenvolvimentos tecnológicos próprios e a parcerias com centros de pesquisas independentes e universidades.

A FORÇA DOS AGENTES DE IA

“Há um cenário inovativo intenso no sistema financeiro nacional”, avalia o engenheiro eletricista Anderson Soares, fundador e vice-presidente de tecnologia do Centro de Excelência em Inteligência Artificial da Universidade Federal de Goiás (UFG). “Estamos no top 3 global no uso de inteligência artificial [IA] no setor”, complementa o especialista, que vê o Brasil atrás apenas de China e Coreia do Sul, mas à frente dos Estados Unidos, em intensidade de desenvolvimento de soluções e adoção de sistemas de IA na área financeira.

A inteligência artificial está entre as principais prioridades tecnológicas do setor no país,

segundo o documento “Estudo de tecnologias emergentes para o setor bancário 2025”, elaborado pela Febraban e a consultoria Accenture. Uma das principais aplicações de IA constatada é no Ciclo de Vida de Desenvolvimento de Software (SDLC), um processo de criação de softwares em fases estruturadas que englobam análise, planejamento, design, desenvolvimento, testes, implementação e suporte. “O uso de times mistos, formados por humanos e agentes de IA, gera mais eficiência ao processo de criação de softwares, com ganhos de produtividade superiores a 20%”, diz Eduarda Davidovic, diretora-adjunta de Inovação e Tecnologia da Febraban.

Os agentes de IA são uma tecnologia emergente. Trata-se de sistemas computacionais autônomos que usam inteligência artificial generativa para perceber o ambiente, processar informações multimodais, como voz, texto e imagens, e planejar e executar ações para alcançar objetivos predefinidos. São empregados no setor financeiro para executar tarefas que vão do atendimento ao cliente em meios digitais, substituindo os antigos *chatbots*, ao aconselhamento personalizado de investimentos ou à avaliação de contratação de serviços. Podem ser empregados em ações de apoio a funcionários, fornecendo informações sobre normas, processos e procedimentos, e auxílio às equipes de P&D, dando suporte ao desenvolvimento de softwares e soluções tecnológicas.

O Bradesco foi um dos pioneiros no uso de agentes de IA, com a assistente virtual BIA. Lançada em 2016 como um *chatbot*, a ferramenta depois evoluiu com a incorporação de recursos de IA generativa. Atualmente, o banco tem três versões do sistema: BIA Cliente, que, segundo a instituição, apresenta uma taxa de resolução das demandas dos usuários sem intervenção humana acima de 85%; BIA Corporativa, voltada para dar suporte aos funcionários; e BIA Tech, destinada ao desenvolvimento de softwares e soluções tecnológicas.

No Itaú Unibanco, os agentes de IA generativa estão por trás de um pioneiro serviço de Pix no WhatsApp, pelo qual os clientes realizam transferências de dinheiro por meios multimodais, como texto, áudio, QR Code e imagem. Cabe ao sistema interpretar automaticamente fotos contendo o valor e a chave Pix. A tecnologia multimodal que serve de base para esse sistema de Pix teve como base pesquisas realizadas no Centro de Ciência de Dados (C2D), criado a partir de uma parceria entre o banco e a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli-USP).

O Itaú também dispõe de um agente de investimentos capaz de interpretar perfis de investidores, analisar cenários de mercado e sugerir estratégias personalizadas, além de um agente de IA generativa jurídico, que analisa mais de 100 mil documentos por mês. O banco soma 21 depósitos de patentes envolvendo o uso de IA em atividades financeiras.

A expectativa é que, no futuro próximo, os agentes de IA possam realizar automaticamente, sem intervenção humana, tarefas complexas, como o pagamento de contas, a contratação de um seguro, a compra de um bem no varejo on-line e até analisar e definir investimentos ou realizar o fluxo de caixa e a gestão financeira de uma empresa. “Ninguém acorda com vontade de pagar um boleto”, brinca Carlos Eduardo Mazzei, diretor de Tecnologia do Itaú Unibanco. “Os agentes de IA vão cuidar das tarefas burocráticas do dia a dia e as pessoas poderão se preocupar em definir as estratégias.”

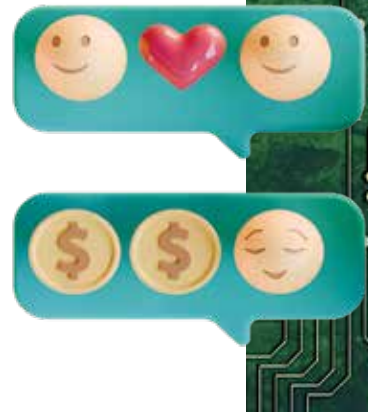
SOLUÇÕES MADURAS

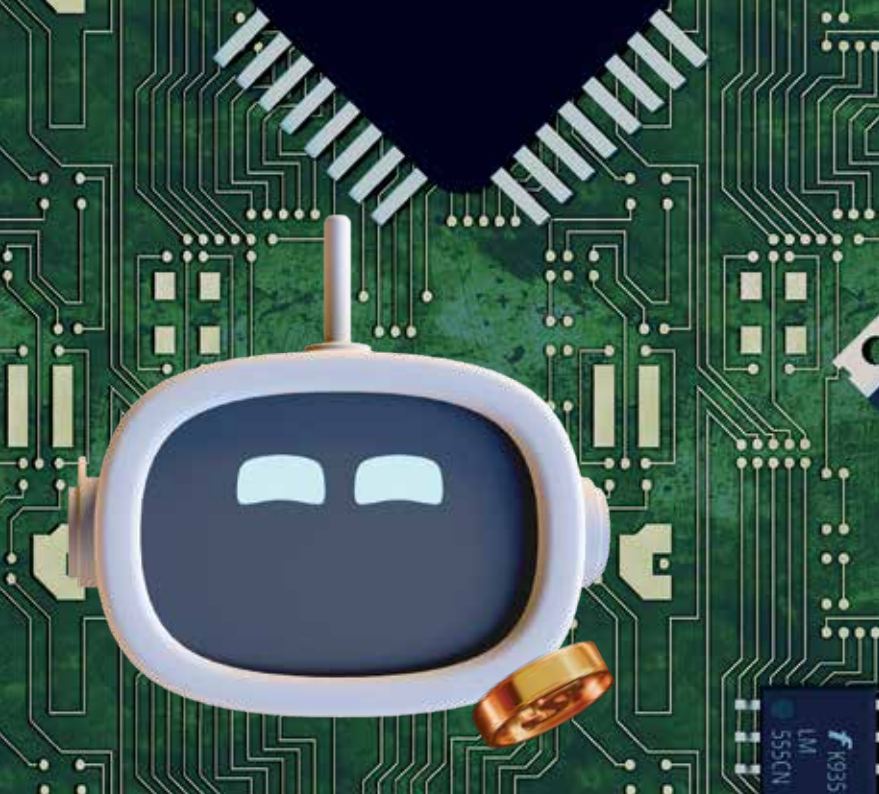
Desenvolver agentes de IA capazes de executar tarefas complexas de forma segura para os usuários e as instituições é um dos principais desafios que os centros de pesquisas dos bancos e seus parceiros na academia enfrentam. “Finanças é um setor de alto risco que demanda soluções tecnológicas suficientemente maduras antes de serem implementadas”, avalia o pesquisador em cybersegurança Marcos Antonio Simplicio Junior, do Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais da Poli-USP.

“O agente de IA pode induzir o cliente a um erro. O banco também fica vulnerável, uma vez que ao disponibilizar e impulsionar o uso da ferramenta pode ser responsabilizado pelas ações do sistema”, complementa Simplicio. Um risco extra, destaca, é o uso malicioso do agente de IA para gerar erros propositais e oportunidades de processos de indenização.

Uma forma de reduzir riscos é manter nas ações dos agentes de IA a tradicional validação humana, exigindo no final do processo a confirmação do cliente de que está de acordo com a

Os agentes de inteligência artificial são a nova tecnologia emergente





ação definida pela IA. Os centros de pesquisas trabalham principalmente no aperfeiçoamento das arquiteturas de sistemas. No Laboratório de Arquitetura e Redes de Computadores (Larc) da USP, que mantém parceria tecnológica com o Bradesco, Simplicio lidera um trabalho de pesquisa ofensiva e defensiva, realizando ataques aos sistemas computacionais dos agentes de IA para descobrir vulnerabilidades que depois serão trabalhadas pelas equipes de desenvolvedores de soluções.

Outra preocupação é com a garantia de que os sistemas de IA façam avaliações isentas e não discriminatórias dos usuários, evitando que a análise para a concessão de um empréstimo ou cartão de crédito seja influenciada por fatores como a orientação sexual ou religiosa do cliente, questões étnicas ou origem geográfica e localização da moradia do usuário. “Nosso desafio é que o sistema de IA use apenas critérios objetivos em suas análises”, diz o engenheiro electricista Enio Alterman Blay, pesquisador do C2D, que realiza trabalhos numa área conhecida como IA responsável.

Discriminações exercidas por agentes de IA são geradas por bancos de dados desenvolvidos de forma enviesada, diz o especialista. “Trabalhamos no desenvolvimento de ferramentas algorítmicas que resultem em bancos de dados que garantam resultados objetivos para todos os grupos sociais”, diz Blay. Em setembro de 2025,

pesquisadores da USP e do Instituto de Ciência e Tecnologia do Itaú publicaram artigo sobre IA responsável no Proceedings of the Workshop on Bots in Software Engineering (WBOTS).

EMERGÊNCIA DA COMPUTAÇÃO QUÂNTICA

A computação quântica, que explora propriedades da física quântica para realizar cálculos simultâneos em uma ordem de magnitude muito superior à dos supercomputadores atuais (*ver Pesquisa FAPESP nº 284*), é outra tecnologia emergente destacada no estudo da Febraban. Apesar de ainda não existirem computadores quânticos comerciais de alta performance e desempenho estável, a tecnologia já é uma das prioridades dos centros de pesquisas das instituições financeiras e de seus parceiros na academia.

“No futuro, algoritmos quânticos vão ampliar a segurança, a precisão e a velocidade das decisões financeiras. Poderão melhorar a qualidade da oferta de crédito, otimizar investimentos em tempo real e apoiar operações em que agentes de IA poderão atuar como ‘clientes’, tomando decisões autônomas”, diz Renata Petrovic, diretora do inovabra, o ecossistema de inovação do Bradesco. “Mas a computação quântica também apresenta potencial para quebrar alguns mecanismos de segurança utilizados hoje pelo sistema bancário”, complementa a executiva. Por isso, segundo ela, a segurança na era pós-quântica é uma das pautas mais discutidas nas áreas de pesquisa do setor.

“É provável que um computador quântico possa quebrar facilmente uma criptografia que hoje não é ameaçada nem pela soma da capacidade computacional de todos os supercomputadores existentes no mundo atuando de forma conjunta durante anos”, prevê Simplicio. “Juntamente com a comunidade internacional de criptologia, estamos trabalhando no desenvolvimento de algoritmos mais robustos, capazes de proporcionar esquemas criptográficos resistentes a ataques promovidos por algoritmos quânticos”, complementa o pesquisador, que recebeu apoio da FAPESP em seus estudos iniciais sobre criptografia pós-quântica e, recentemente, publicou com colegas do Larc-USP um artigo sobre o tema nos anais do 25th International Symposium on Cluster, Cloud and Internet Computing (CCGrid).

A avaliação da comunidade científica, diz Simplicio, é que a computação quântica apresentará um desafio significativo à segurança da criptografia até 2035. “Nossa meta é ter esquemas de criptografia pós-quântica desenvolvidos e em uso no país entre 2030 e 2035”, diz o pesquisador da Poli-USP. ●

O projeto e os artigos científicos consultados para esta reportagem estão listados na versão on-line.

Proteínas com rapidez

Plataforma de IA e kit de reagentes simplificam o planejamento e a produção de macromoléculas sintéticas usadas em aplicações médicas e industriais

CARLOS FIORAVANTI

A biomédica Thainá Rodrigues de Almeida segura uma delicada lâmina de gel e examina as marcas deixadas pelas proteínas que acabou de purificar, deixando-as prontas para uso. Como as alturas das marcas são diferentes, ela comenta, desconfiada, que talvez a purificação não tenha sido perfeita. Mais experiente nessa área, a médica-veterinária Iris Todeschini aproxima-se e a tranquiliza: os tamanhos distintos podem ser o resultado de um fenômeno chamado oligomerização, pelo qual estruturas menores se unem para formar uma maior, como vagões de um trem.

Fatores de crescimento da Biolinker (ao lado), já usados na produção de carne de laboratório em substituição ao soro fetal bovino. O tamanho das colunas no gel (abaixo) indica o grau de purificação das proteínas

Elas estão em um dos laboratórios da Biolinker, uma startup de biotecnologia instalada em um parque industrial de Cotia, na Região Metropolitana de São Paulo. De lá, segundo a fundadora da empresa, a bioquímica e médica-veterinária Mona Oliveira, já saíram cerca de 250 tipos de proteínas – como enzimas, anticorpos e vacinas animais – para grupos de pesquisa de empresas ou universidades de vários estados do país.

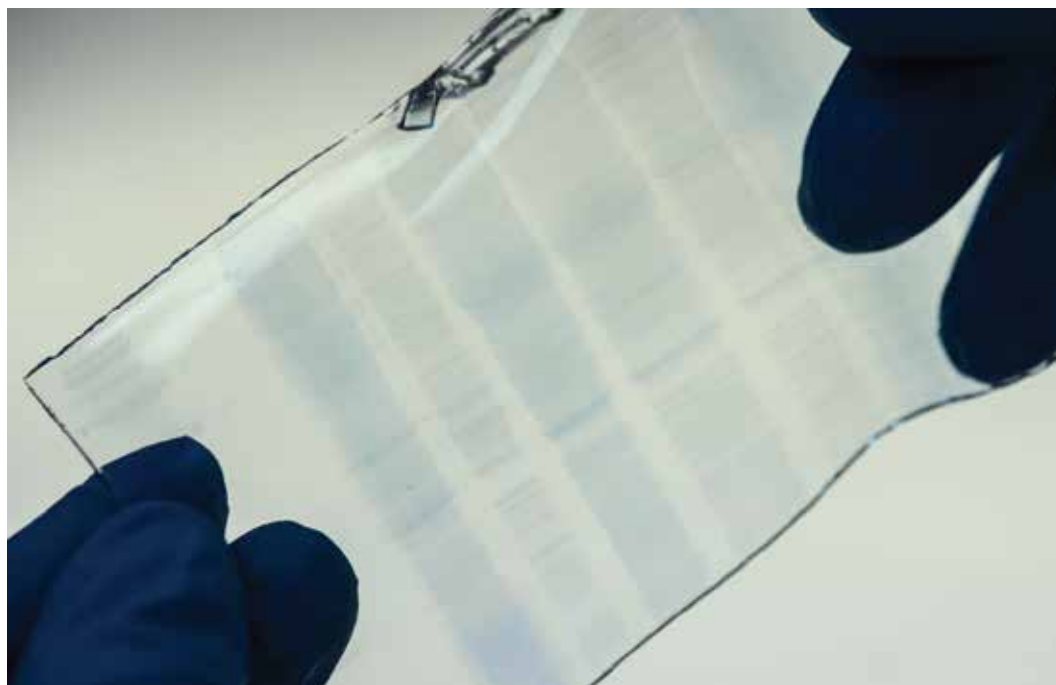
A categoria que mais dá orgulho à equipe, por causa de suas estruturas complexas, são os chamados fatores de crescimento, que induzem o desenvolvimento celular, e já são usados por produtores nacionais de carne de laboratório em substituição ao soro fetal bovino (ver Pesquisa FAPESP nº 343). Custam caro: a versão importada para pesquisa do fator de crescimento epitelial (EGF) sai de R\$ 3 mil a R\$ 8 mil por micrograma (mcg, um milionésimo de grama) e para uso médico, mais purificada, de R\$ 10 mil a R\$ 30 mil por mcg. O fator de crescimento endotelial vascular (VEGF), que estimula a formação de vasos sanguíneos, pode chegar a R\$ 80 mil por mcg.

A Biolinker desenvolveu um sistema de inteligência artificial (IA) que facilita o planejamento e a produção de proteínas materializado em um kit de quatro tubos com 3 centímetros (cm) de altura. O rendimento da primeira versão do kit, lançada em 2020, já com ingredientes liofilizados (em pó), era de 10 microgramas por litro (mcg/L);

na mais recente, distribuída a partir de setembro de 2025, saltou para 500 mcg/L. O sistema foi apoiado por cerca de R\$ 8 milhões de investidores privados, como o ex-CEO do iFood Fabricio Bloisi, de empresas como o Google e de órgãos públicos, como a FAPESP, a Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (Sebrae) e o programa Desenvolve São Paulo.

“Reduzimos o tempo de síntese proteica de 15 dias para algumas horas”, afirma Oliveira. É um tempo próximo do executado pelos organismos vivos: as células do pâncreas produzem insulina, formada por 51 aminoácidos, e a deixam pronta para uso em duas horas.

A concorrência, porém, é grande. As poucas fabricantes nacionais de proteínas por engenharia genética – como a Biolinker, a ApexZymes, de Campinas (SP), a ByMyCell e a FastBio, ambas de Ribeirão Preto (SP), cada uma com seu próprio perfil e alvos comerciais muitas vezes sobrepostos – convivem com um mercado competitivo. Nessa área, predominam as filiais de multinacionais e as importadoras de proteínas produzidas na China, nos Estados Unidos e na Europa. Apesar disso, as perspectivas de negócio são boas: em conjunto, o mercado nacio-



nal, considerando apenas as enzimas, responde por vendas anuais próximas a US\$ 300 milhões, de acordo com levantamentos de duas empresas de consultoria, a Grand View Research e a MarkNtel Advisors, realizados em 2025.

É um mercado grande, apesar de essas macromoléculas serem estruturas minúsculas. Formadas por blocos conhecidos como aminoácidos, as proteínas são de 100 a 10 mil vezes menores que uma célula humana, formada por milhares de tipos diferentes dessa categoria de moléculas complexas. Elas medem em média 5 nanômetros (nm, 1 milionésimo do milímetro), embora as maiores cheguem a 8 nm. Enzimas como a alfa-amilase, lactase e celulase, de menor peso molecular, são essenciais para a produção de alimentos como leite sem lactose e vinhos, detergentes, papel e celulose, etanol, enquanto as de maior porte, como os anticorpos e hormônios, ajudam a salvar vidas.

Tanto o sistema de IA quanto o kit da Biolinker nasceram de processos internos, remodelados para atender a usuários externos. Financiada parcialmente pela Google, a plataforma de IA da empresa, Bioinformatic Agents for Integrated Operations (bAIo, www.baiohub.com), integra ferramentas de bioinformática, facilita a confecção de sequências de DNA ou RNA que conduzem a produção de proteínas, determina sua estrutura e interações com outras moléculas em bases públicas de dados. “Já estamos com 140 usuários inscritos”, informa

Esse e outros programas, como o AlphaFold, da Google, e o RoseTTAFold, da Universidade de Washington, ambos nos Estados Unidos, elucidam pelo computador as estruturas de proteínas, normalmente identificadas por meio de técnicas caras e demoradas, como a cristalografia de raios X e a ressonância magnética nuclear. Tais aparelhos revelaram a conformação espacial de cerca de 170 mil proteínas, uma parcela pequena diante dos estimados 200 milhões de tipos produzidos continuamente pelos organismos vivos.

Já o kit consiste em uma técnica de produção de proteínas chamada *cell-free* (livre de células), usando DNA ou RNA, enzimas e ribossomos (estruturas celulares responsáveis pela síntese proteica), dispensando as próprias células. Ainda que os ribossomos necessitem de armazenamento e transporte sob temperaturas negativas, é um método rápido e flexível, usado mundialmente desde os anos 1960.

Cada fabricante tem seus próprios ingredientes, mas o princípio é o mesmo (ver infográfico ao lado). A Biolinker produz no Brasil o kit *cell-free*, geralmente importado de multinacionais como

Thermo Fisher Scientific, GenScript, Syntheliss e Synbio Technologies por um preço médio de R\$ 5 mil.

“Para pesquisa em pequena escala, de microgramas, e para ensino, o *cell-free* é fantástico. É simples e rápido, além de permitir a produção de proteínas que seriam tóxicas para as células, como as do coronavírus”, comenta a bióloga Danielle Pedrolli, da Universidade Estadual Paulista (Unesp), *campus* de Araraquara, que não participou da pesquisa. “A restrição é que produz apenas uma quantidade limitada de proteínas, diferentemente da *E. coli* engenheirada, que poderia produzi-las continuamente e em quantidade maior.”

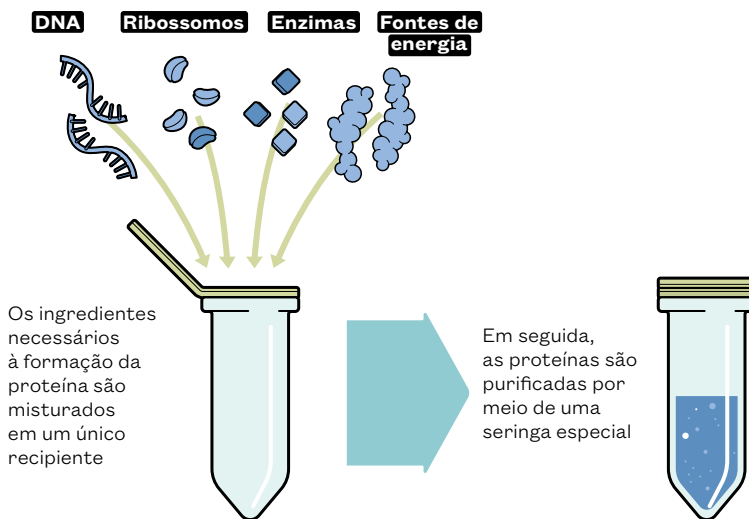
Pedrolli usou a técnica para identificar funções de moléculas específicas no interior das células e para construir sensores para vírus, permitindo sua detecção mesmo em baixas concentrações. Descritos em um artigo publicado em outubro de 2023 na *ACS Synthetic Biology*, esses sensores poderiam servir para diagnósticos médicos e detecção de contaminantes, a partir de amostras de sangue ou da água e do esgoto.

Em um estudo com o Instituto de Química da Universidade de São Paulo (USP), o médico-veterinário Phelipe Vitale, cofundador da Biolinker, examina as interações entre os reagentes do kit em um aparelho de ressonância magnética nuclear. À medida que a pesquisa avança, ele saberá o que deve ser aprimorado para reduzir o tempo das reações. “Queremos ter o melhor *cell-free* do mundo”, almeja Oliveira.

Em outra pesquisa, que reforça essa meta, a equipe da empresa tenta produzir proteínas usan-

Basta misturar

A técnica *cell-free* simplifica a produção de proteínas



Os ingredientes necessários à formação da proteína são misturados em um único recipiente

Em seguida, as proteínas são purificadas por meio de uma seringa especial

FONTE: BIOLINKER



Acima, o kit de produção rápida de proteínas. Ao lado, a proteína verde fluorescente (GFP), usada como marcador de outras proteínas

do células vegetais de espécies brasileiras. Dotada de ribossomos maiores que os das células animais, as de plantas são a princípio capazes de oferecer um rendimento maior. “Está indo bem”, resume Oliveira. Sua previsão é oferecer essa técnica comercialmente a partir de 2028. Uma empresa alemã do grupo Europa Biosite já produz proteínas usando células de tabaco pelo método *cell-free*, com um rendimento 30 vezes maior que o dos métodos tradicionais.

AMPLIAÇÃO

A Biolinker está ampliando a escala de produção. Em outro laboratório, a médica-veterinária Todeschini mostra um aparelho chamado sonicador. Com um formato semelhante a um *mixer* usado para triturar alimentos, ele gera frequências de ultrassom que rompem membranas celulares e libera as proteínas produzidas por engenharia genética em bactérias *E. coli*. “Com esse aparelho, fazíamos de 10 a 15 mililitros (mL) por vez”, ela conta. Em seguida, mostra com satisfação outro

aparelho, fechado – o homogeneizador. “Resolveu nossa vida. Faz até 10 L por hora, embora não usemos tanto, porque as empresas compram no máximo 50 mL de proteínas por vez.”

Mais do que equipamentos, o que falta nessa área é mão de obra qualificada, na visão do engenheiro químico Luismar Marques Porto, professor aposentado da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), diretor técnico da empresa de biotecnologia 4Wood Biotech e diretor executivo da consultoria Tubanharon Innovation Systems. “A formação de pessoal para trabalhar com proteínas no Brasil é precária. O ensino é muito compartimentalizado e os institutos pouco integrados.”

Ele conta que, em 2009, conseguiu um financiamento internacional para um projeto em biologia sintética, mas teve de desistir porque não conseguiu formar um grupo de pesquisa na UFSC, do qual seria o coordenador. “Em 2021, para formar a equipe da Divisão de Carne Cultivada da JBS, tive de buscar fora. Trouxe pesquisadores brasileiros que estavam nos Estados Unidos, em Singapura, na Noruega e em outros países para compor a equipe prevista no projeto”, relata. Em março de 2024, para viabilizar outros projetos, Porto deixou a JBS, que em março inaugurou em Florianópolis o JBS Biotech Innovation Center, com o propósito de produzir suplementos proteicos a partir de células semelhantes às do tecido muscular animal, para serem usados em bebidas ricas em proteínas – os *shakes* – e barras de cereais.

Para Pedrolli, não faltam especialistas. Segundo ela, tem havido um crescimento contínuo de especialistas formados no Brasil desde 2020. A Rede Brasileira de Biologia Sintética reúne cerca de 30 grupos de pesquisa espalhados por 18 instituições de todo o país, como detalhado em um artigo de 2025 na *ACS Omega*. “O que falta”, observa, “são boas ofertas de emprego para quem termina sua formação acadêmica”.

A despeito das dificuldades, a Biolinker faz planos. Para ampliar a produção e reforçar a equipe de vendas, a empresa, com 12 funcionários, conseguiu R\$ 2,5 milhões e pretende conseguir mais R\$ 13 milhões de investimento privado. Oliveira busca também parceiros globais. “Já andei pela Bélgica, Alemanha, Portugal, Arábia Saudita, Estados Unidos e Hong Kong”, ela conta. “Até o fim do ano reforçaremos nossa atividade internacional, hoje limitada à Colômbia e a Portugal.” ●

Os projetos e os artigos científicos consultados para esta reportagem estão listados na versão on-line.

Para usar menos gordura

Nova formulação permite a redução da quantidade de óleos prejudiciais à saúde em alimentos industrializados

FERNANDA RAVAGNANI



Eristais de gordura microencapsulados desenvolvidos na Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e no Instituto de Tecnologia de Alimentos (Ital) já estão sendo usados na indústria de alimentos. Produzidos a partir de óleos vegetais como os de soja, palma ou milho, permitem uma redução da quantidade de gordura saturada, componente indesejado nos alimentos por ser responsável pelo aumento dos níveis sanguíneos de um tipo prejudicial de colesterol associado ao risco de doenças circulatórias e ao infarto.

O ingrediente em pó, com textura semelhante à da farinha de trigo e produzido por meio de microencapsulação, recebeu o nome de Microcap e desde o ano passado está sendo comercializado por meio de licenciamento pela Noviga Partner, startup criada para aprimorar a tecnologia, e sublicenciamento pela multinacional de alimentos Kerry, que produz a formulação. A inovação já está presente no recheio de bombons de uma fabricante brasileira de chocolates e está em testes em chocolates, biscoitos recheados, pastas de avelã e de amendoim, margarinas e barrinhas proteicas de outras empresas do país e do México.

A fabricação de alimentos cremosos com 1% do total de gorduras composto por Microcap, mostram os experimentos, resulta em melhor consistência das gorduras saudáveis, as insaturadas, que tendem a derreter, e na manutenção da textura e do sabor.

A pesquisa rendeu vários prêmios. O mais recente foi concedido em setembro de 2025 pela Inova, a agência de inovação da Unicamp, na categoria Tecnologia Absorvida pelo Mercado do Prêmio Inventores, às três inventoras. São elas: a engenheira de alimentos Maria Cristina Mascarenhas, autora da tese de doutorado que iniciou

a pesquisa e sócia da Noviga; sua orientadora de doutorado, a química Lireny Gonçalves; e a engenheira de alimentos Izabela Dutra Alvim, do Ital, vinculado à Diretoria de Pesquisa dos Agronegócios da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo.

COLESTEROL BOM E RUIM

Em 2010, ao começar seu doutorado na Faculdade de Engenharia de Alimentos da Unicamp, Mascarenhas encontrou um ambiente favorável à busca de alternativas à chamada gordura trans na indústria. Produzida desde os anos 1940 por meio da injeção de hidrogênio aos lipídios, a gordura trans tem a consistência ideal para os processos de fabricação e deixa os alimentos crocantes, cremosos e saborosos.

O problema é que surgiram sucessivas indicações de que aumentava o colesterol ruim (ou lipoproteína de baixa densidade, LDL) e reduzia o bom (lipoproteína de alta densidade, HDL), elevando riscos de infarto e outros problemas cardiovasculares. Por isso, a partir do início dos anos 2000, sua produção industrial foi sendo proibida em muitos países, incluindo o Brasil, em 2023.

“O desejo de simplificação nos levou a dizer que o LDL é o colesterol ruim e o HDL é o bom, mas não é bem assim”, explica o coordenador do Laboratório de Genômica Nutricional da Unicamp, Dennys Esper Cintra, ao descrever o mecanismo deletério da gordura trans. “O LDL leva colesterol e gordura para os tecidos e o HDL os remove. O LDL, depois de entregar, volta ao fígado, mas a gordura trans bloqueia os receptores de LDL nesse órgão. O LDL então não consegue entrar, fica circulando no sangue, cheio de gordura, sofre oxidação [reação com o oxigênio] e acaba preso na parede das artérias.” A síntese do HDL, por sua vez, também é afetada e sua concentração no sangue diminui.

**Pó Microcap
é lançado
sobre biscoitos
recheados**

Com o apoio de uma bolsa da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), Mascarenhas propôs durante o seu doutorado o uso de cristais de gordura microencapsulados, que poderiam funcionar como sementes para promover a cristalização e homogeneização de outras gorduras, tornando-as mais consistentes, estáveis e adequadas à fabricação e ao consumo. “Não sabíamos se poderia funcionar, porque o ideal para essa técnica é ter água, e o recheio do biscoito, nosso alvo, não tinha”, recorda-se Mascarenhas.

No mestrado, ela já havia trabalhado com microencapsulação, mas, como ia precisar de mais ajuda técnica, procurou Alvim, que coordenava o trabalho sobre essa técnica no Centro de Tecnologia de Cereais e Chocolates do Ital. Nascida na indústria de medicamentos e já usada no setor de alimentos para manter o valor nutricional de vitaminas e minerais, essa tecnologia forma cápsulas minúsculas e permite o controle da liberação de seu conteúdo.

“Na época eu tinha um *spray dryer*, um secador por pulverização, do tipo que produz leite em pó e café solúvel, pequeno, para uso em laboratório”, explica Alvim. O equipamento serviu para fazerem o protótipo das cápsulas, com diâmetro de 7,8 a 10,5 micrômetros (μm ; 1 micrômetro equivale à milésima parte do milímetro). As paredes das esferas são formadas por amido de milho. O protótipo foi apresentado na defesa do doutorado de Mascarenhas, em 2015.

“Sabíamos que, com a saída de cena da gordura trans, haveria uma substituição quase automática por gorduras de alto teor de saturados, que também podem fazer mal à saúde se consumidas em excesso”, recorda a engenheira de alimentos

da Unicamp Ana Paula Badan. “O doutorado de Mascarenhas veio como alternativa para permitir uma redução nesses saturados, formando uma rede de estruturação totalmente diferente no alimento, uma abordagem nova na época”, afirma. As gorduras insaturadas, por causa do formato não linear, que dificulta a interação com outras moléculas, são mais líquidas que as saturadas. Para obter uma consistência parecida com a das gorduras trans, diz ela, a indústria acabou recorrendo em peso às gorduras saturadas.

A nova pesquisa passou a integrar um projeto temático apoiado pela FAPESP do qual a docente fazia parte, liderado pela Faculdade de Engenharia Química da Unicamp com coordenação do engenheiro químico Theo Guenter Kieckbusch (1942-2021). “Esse grupo da academia se antecipou muito bem para trazer as novas soluções”, recorda Badan.

MENOS GORDURA EM BISCOITOS

Em um exemplo da vantagem da aplicação prática da tecnologia, o uso das microcápsulas do Microcap permitiu a substituição de 20% de gordura saturada por insaturada na preparação do recheio para biscoitos de uma fábrica de alimentos, nos testes realizados pela Noviga.

Em paralelo à conclusão do doutorado de Mascarenhas, a agência de inovação da Unicamp recomendou o patenteamento do método de produção dos cristais de gordura. “A Inova faz a avaliação técnica e estratégica dos resultados das pesquisas acadêmicas feitas na universidade, considerando seu potencial de transferência para as empresas”, conta o diretor-executivo da agência, Renato Lopes. Solicitada em 2014 em nome de Mascarenhas, Alvim e Gonçalves, a patente foi concedida em 2021.

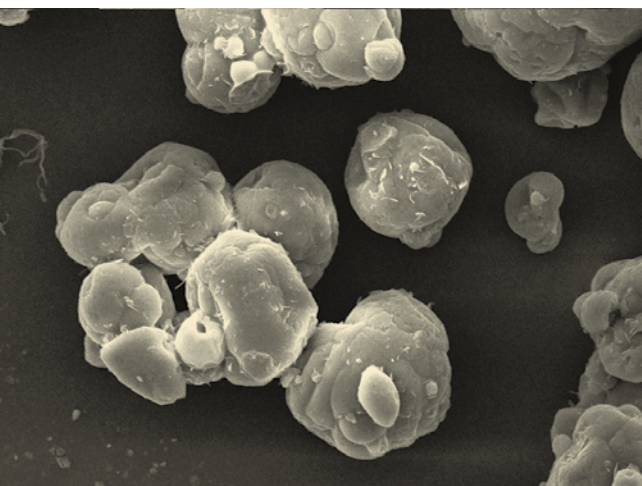
Disposta a levar sua ideia adiante, Mascarenhas participou em 2015 de uma competição de

Por dentro do mundo das gorduras

Conheça as principais características de cada uma delas

	Insaturada	Saturada	Trans
O que é	Na forma de óleo, tem ponto de fusão baixo; por isso, derrete com o calor. Presente em castanhas, azeite de oliva, abacate, peixes	Mais sólida em temperatura ambiente, seu ponto de fusão é mais alto. Está contida em gorduras animais e vegetais, óleo de coco, leite e derivados	Versátil para processamento de alimentos, é mais sólida em temperatura ambiente. No passado, era usada em margarina e bolachas
Composição	Ácidos graxos com ligações duplas na configuração cis entre os carbonos da cadeia	Ácidos graxos com ligações simples entre os carbonos da cadeia	Ácidos graxos com ligações duplas na configuração trans entre os carbonos da cadeia
Efeitos no organismo	Eleva o HDL (colesterol “bom”); efeitos positivos no cérebro	Em excesso, é associada à obesidade, ao aumento de LDL (colesterol “ruim”) e a problemas cardiovasculares	Eleva o LDL e reduz o HDL. Proibida no Brasil desde 2023

FONTES: UNICAMP / ITAL



Aplicação do Microcap sob agitação em processo de fabricação de um creme. Ao lado, imagem de microscopia eletrônica de varredura mostra a morfologia de partículas da nova formulação

empreendedorismo promovida pela Inova para criar um modelo de negócio para uma tecnologia nascida na universidade. Como prêmio pelo terceiro lugar, ganhou uma pré-aceleração pela Baita Aceleradora, localizada no Parque Científico e Tecnológico da Unicamp, e dois anos depois criou a startup Noviga.

Dois projetos de pesquisa contribuíram para o aprimoramento do processo de produção: um apoiado pelo programa Pesquisa Inovativa em Pequenas Empresas (Pipe) da FAPESP e outro pela empresa M. Dias Branco, fabricante cearense de farinha de trigo, massas e biscoitos. “Não queríamos montar uma fábrica, mas facilitar a busca por parceiros”, diz Mascarenhas. Assim, em 2022 ela fez um acordo com a Kerry, que as-

sumiu a produção e distribuição dos cristais de gordura microencapsulados.

“Ao modificar a estrutura do alimento ao qual é aplicada, a formulação diminui a necessidade de utilização das gorduras saturadas e melhora o sabor e a estabilidade dos produtos”, corrobora a engenheira química Suzana Caetano da Silva Lannes, da Faculdade de Ciências Farmacêuticas da Universidade de São Paulo (FCF-USP), que não participou da pesquisa e trabalha com as propriedades de alimentos de alto teor de gordura. “É um facilitador industrial, digamos assim. E as indústrias trabalham intensamente na busca por um novo portfólio de gorduras, com boa funcionalidade e preço baixo.”

Entre as opções adotadas nacional e internacionalmente, de acordo com Lannes, estão processos como a interesterificação química ou enzimática da gordura – que encarece o ingrediente – e o fracionamento, que tem limitações na eficácia. Há também a possibilidade de usar outras gorduras, como o óleo de palma, com maior teor em óleos saturados. Contudo, as gorduras saturadas são prejudiciais quando consumidas em excesso, favorecendo distúrbios como a obesidade, o que fez a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) determinar que produtos sólidos com mais de 6 gramas (g) ou líquidos com mais de 3 g de gordura saturada a cada 100 g devem ter uma lupa no rótulo frontal com os dizeres “Alto em gordura saturada”. Outra vantagem do Microcap é, dependendo do caso, deixar o produto final com uma proporção de gordura saturada que dispense a advertência.

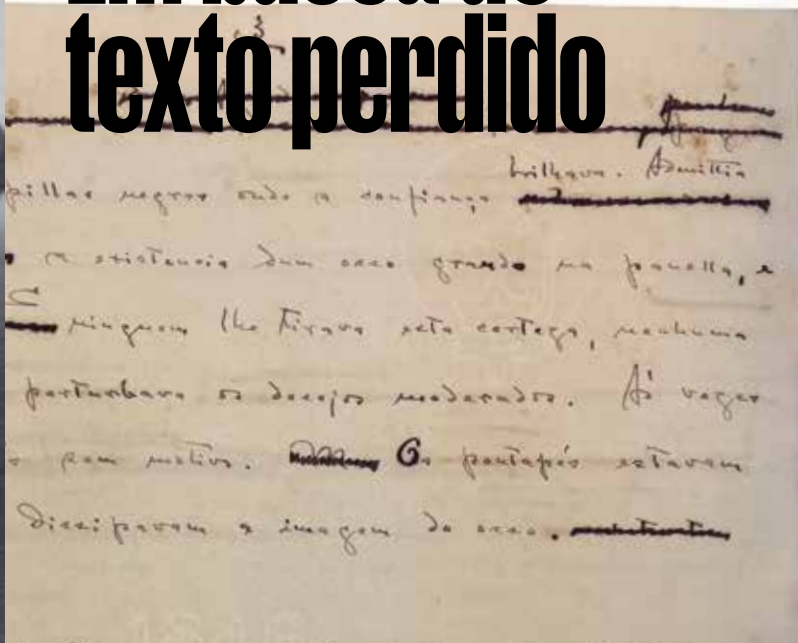
Mascarenhas reconhece, no entanto, as dificuldades para avançar. Primeiro porque a adoção da tecnologia demanda desenvolvimento conjunto para adequar as formulações no processo industrial das empresas interessadas, o que envolve custo, em um mercado de produtos de baixo valor agregado.

Segundo porque os fabricantes de alimentos processados tendem a manter sigilo de seus métodos de fabricação, o que impede a propaganda de usos bem-sucedidos dos cristais encapsulados de gordura. Há também a concorrência com alternativas na corrida por boas opções, a exemplo de emulsões e dos chamados oleogéis, uma inovação em desenvolvimento na Unicamp. Apesar dos desafios, a Noviga trabalha para abrir outras frentes de negócio para o Microcap, como nos ramos de carne cultivada e cosméticos. ●

Os projetos consultados para esta reportagem estão listados na versão on-line.

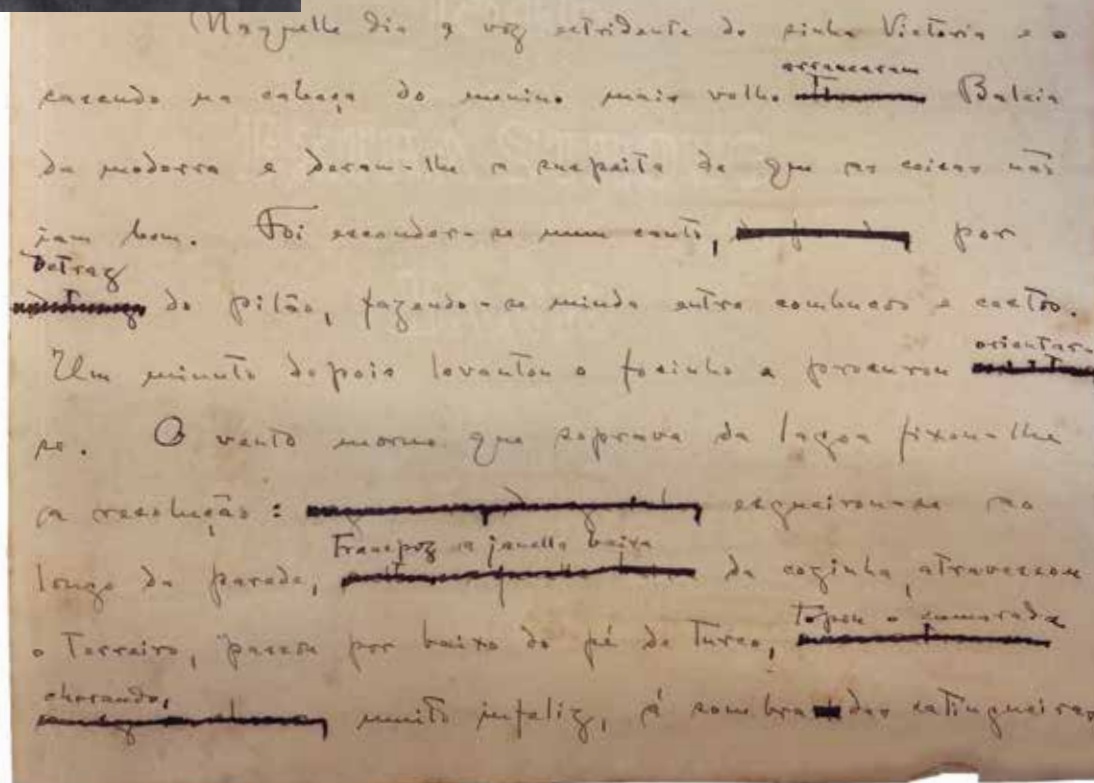


Em busca do texto perdido



Novas edições da obra de Graciliano Ramos buscam restituir fragmentos e correções feitas pelo próprio autor

ANA BEATRIZ RANGEL



Em *S. Bernardo*, romance publicado originalmente em 1934, Graciliano Ramos (1892-1953) narra os conflitos existenciais que acompanham a ascensão de um trabalhador pobre do sertão a proprietário de terra. Em 2026, o título ganhou nova edição pela Todavia, organizada por Thiago Mio Salla, professor da Escola de Comunicação e Artes da Universidade de São Paulo (ECA-USP). Estudo da obra do escritor alagoano há duas décadas, ele é autor de livros como *Graciliano Ramos e a cultura política* (Edusp, 2016), fruto de sua tese de doutorado defendida em 2010 na USP. Ambos tiveram apoio da FAPESP.

S. Bernardo não é o único a receber novos olhares editoriais. A entrada em domínio público da obra de Graciliano em janeiro de 2024 vem impulsionando uma série de reedições de seu legado literário, que inclui quatro romances, dois livros memorialísticos, um relato de viagem, três volumes infantojuvenis, três coletâneas de contos, além de textos avulsos em prosa e verso publicados na imprensa entre os anos 1900 e 1950. As pesquisas em torno do tema têm contribuído para essa iniciativa. É o caso de Salla que, organizou, além de *S. Bernardo*, outras três novas edições de Graciliano pela Todavia: os romances *Vidas secas* (1938) e *Angústia* (1936) e o infantojuvenil inédito *Os filhos da coruja*, baseado em poema escrito na década de 1920 e publicado em 2024.

“Em relação a *Vidas secas*, assim como aconteceu com *Angústia* e *S. Bernardo*, procuramos corrigir os erros acumulados ao longo das sucessivas edições, o que demandou um trabalho de cotejo do original e de outras 12 versões do texto. As alterações foram detalhadas em notas de rodapé e nas notas finais para quem quiser se aprofundar”, explica Salla. As imprecisões corrigidas vão desde a distribuição dos parágrafos e erros gramaticais até a troca de palavras, como é o caso da substituição, no primeiro parágrafo do livro, do verbo “aparecer” no original por “parecer” nas edições à venda até a entrada da obra de Graciliano em

domínio público. “Esse tipo de alteração pode levar a equívocos de interpretação”, argumenta o pesquisador.

Vidas secas, romance que narra a saga de uma família atravessando as misérias do sertão, tornou-se um clássico da literatura nacional e um sucesso de vendas. “Graciliano é um autor que entra em domínio público com alto potencial comercial, o que naturalmente atrai as editoras. Esse processo amplia a circulação da obra e multiplica as edições; minha preocupação foi preservar a versão mais fiel do texto”, prossegue Salla.

Mario Santin Frugiuele, gerente editorial da Todavia e responsável por conduzir o projeto de reedição das obras de Graciliano realizado por Salla, concluiu o doutorado em filologia e língua portuguesa na USP com uma tese dedicada ao autor alagoano. “Quando iniciei a pesquisa, em 2018, já tinha em vista a entrada da obra em domínio público, em 2024, e a preocupação de que, quando isso ocorresse, houvesse uma edição mais fidedigna à vontade do autor”, conta.

A tese do pesquisador, “Os manuscritos de *Vidas secas*: A gênese”, analisa o clássico de Graciliano pelo viés da crítica genética. Campo teórico-metodológico, a crítica genética nasceu na França entre as décadas de 1970 e 1980. Seu propósito original é reconstituir o processo de criação de uma obra literária a partir dos vestígios deixados pelo autor, embora hoje essa abordagem seja empregada também em outras formas de expressão artística, como pintura, peça de teatro e roteiro cinematográfico.

No caso de Graciliano, conhecido por revisar obsessivamente os próprios textos, riscando palavras até quase torná-las ilegíveis, o trabalho de pesquisa exigiu uma verdadeira “autópsia” da escrita. “Examinei os manuscritos em mesa de luz e recorri à lupa, à luz infravermelha e outros recursos disponíveis para identificar os traços da grafia. Isso me permitiu compreender em profundidade as rasuras de Graciliano e o modo como desenhava cada letra”, conta Frugiuele. “Inicialmente, ele faz um texto mais derramado,

com uso frequente de palavras como ‘coitada’ ou ‘coitadinha’ para descrever a família de retirantes. Os cortes que realizou e que caracterizaram seu estilo conciso e direto fizeram do texto uma obra-prima.”

Entre as emendas feitas por Graciliano em *Vidas secas*, identificadas pela análise genética do manuscrito, destaca-se uma que evidencia a consciência do autor sobre o peso do sistema escravista na construção das imagens evocadas pelo personagem Fabiano. Na frase “Vivia trabalhando como um condenado”, presente no capítulo “Cadeia”, o autor substituiu “condenado” por “escravo”. Segundo Edilson Dias de Moura, doutor em literatura pela USP e autor de *Graciliano: Romancista, homem público, antirracista* (Edições Sesc, 2023), esse não é um caso isolado. “A presença de imagens do homem negro e escravizado no romance é recorrente e intencional, mas, até muito recentemente, foi pouco observada”, constata.

De acordo com Moura, parte da crítica contemporânea tende a enfatizar os aspectos racistas no léxico empregado por Graciliano em seus romances. O pesquisador argumenta, contudo, que essa leitura não deve ser dissociada de uma análise da trajetória do escritor alagoano como funcionário público. “O uso de certas expressões racistas integra o léxico corrente da época e dialoga com as teorias eugenistas que marcaram a formação de Graciliano, mas que ele progressivamente abandona e passa a refutar ao longo dos anos. Em sua trajetória pública, ao contrário, ele atua pela inclusão da população negra.”

Em 1933, quando esteve à frente do Departamento de Instrução Pública de Alagoas, Graciliano promoveu Irene Braga de Miguel Garrido, professora negra que trabalhava no interior do estado, ao cargo de diretora escolar na capital, Maceió. “A gestão de Graciliano na educação alagoana proporcionou gradualmente uma maior inclusão nas escolas. Durante sua gestão, instituiu-se um programa de merenda escolar, medida que, como ele próprio registrou em relatórios, impulsionou o número de matrículas de crianças negras”, afirma Moura.

O percurso de Graciliano no funcionalismo público não foi apenas uma função paralela à vida de escritor, mas o terreno em que despontaram suas primeiras incursões literárias. Em um relatório publicado em 1928, quando era prefeito de Palmeira dos Índios (AL), escreveu: “Constava a existência de um código municipal, coisa inatingível e obscura. Procurei, rebusquei, esquadrinhei, estive quase a recorrer ao espiritismo, convenci-me de que o código era uma espécie de lobisomem”.

O tom sarcástico, incomum à linguagem burocrática dos relatórios, era uma marca de Graciliano e contribuiu para projetá-lo como escritor, segundo Moura. Pelo uso singular de uma prosa marcada por humor e ironia, esses textos escritos para a prefeitura de Palmeira dos Índios passaram a circular na imprensa carioca e nos meios intelectuais, impulsionando a publicação de seu primeiro romance, *Caetés*, em 1933, pela Schmidt Editora.

A relação entre a obra literária de Graciliano e sua atuação como funcionário público – primeiro como prefeito (1928-1929) e depois como diretor da Imprensa Oficial de Alagoas (1930-1931) – é analisada por Salla no artigo “Entre a escrita e a escrituração: A prosa de guarda-livros de Graciliano Ramos”. O texto integra um dossiê dedicado ao escritor, organizado pelo pesquisador e publicado na *Revista USP* em 2025. “É possível encontrar o embrião de romances que ele escreveria mais tarde nesses relatórios, pois, enquanto ainda não tinha livros publicados, era ali que o seu estilo encontrava espaço para se manifestar”, observa Salla.

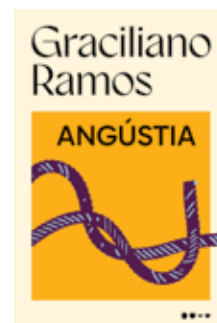
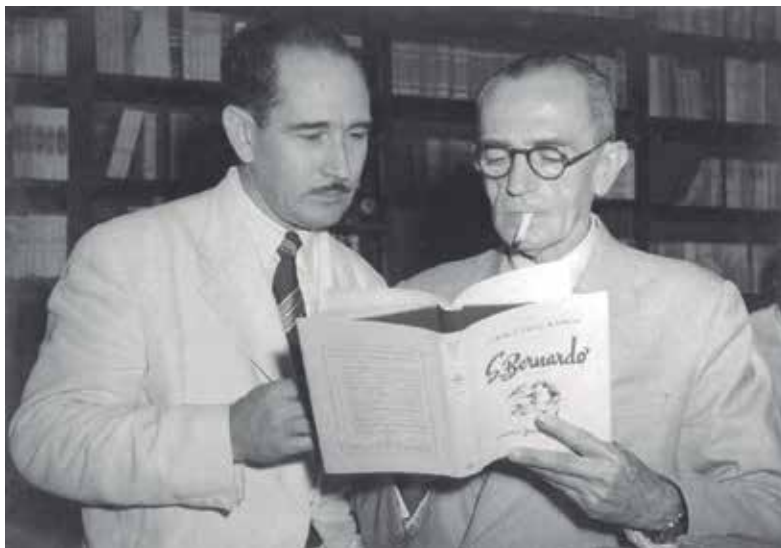
Embora ainda não fosse filiado ao Partido Comunista Brasileiro (PCB), o que só ocorreria em 1945, a notoriedade de seus relatórios e das ações progressistas como funcionário público despertou suspeitas entre os agentes que trabalhavam na repressão do governo Getúlio Vargas (1930-1945). Havia a suspeita quanto a um possível envolvimento do escritor na Intentona Comunista, rebelião político-militar que visava destituir o poder vigente. Ainda que tal envolvimento não se confirmasse e não houvesse nenhuma acusação formal, Graciliano permaneceu preso no Rio de Janeiro por 11 meses, entre 1936 e 1937. A experiência deu origem ao livro *Memórias do cárcere*, cuja escrita iniciada em 1946 foi interrompida em 1953 com a morte do autor, sendo publicado, no mesmo ano, pela editora José Olympio.

Fabio Cesar Alves, professor de literatura brasileira da USP, sustenta que essa obra mostra uma faceta menos conhecida de Graciliano. “Ele é frequentemente associado a alcunha de ‘escritor da seca’, mas há também um lado mais dostoiévskiano, voltado à investigação das profundezas do ser. Essa dimensão aparece tanto em *Memórias do*

Frontispício da prova tipográfica da primeira edição de *Vidas secas* (1938); durante a revisão do documento, Graciliano riscou a opção anterior de título, *O mundo coberto de penas*



O escritor, em 1949, com o radialista Amaral Gurgel, responsável pela adaptação do livro *S. Bernardo* para a Rádio Globo



cárcere quanto em livros como *Angústia* ou *Infância*, que costumam ser menos explorados”, afirma Alves, um dos organizadores do livro *Graciliano Ramos, a paixão medida: Ensaios de interpretação da obra* (Hucitec, 2025).

O pesquisador avalia que o teor confessional da obra pode ser atrativo no atual protagonismo da autoficção – gênero que mistura autobiografia com ficção – no cenário literário. No entanto, ele ressalta que o autor alagoano oferece uma experiência distinta aos leitores contemporâneos. “Hoje, há uma demanda do público e uma expectativa dos escritores por uma subjetividade plena e transparente”, diz. “Porém a escrita confessional de Graciliano apresenta um eu esgarçado, marcado pela repressão, e, ao mesmo tempo, atento ao entorno, sempre filtrado pelo olhar do outro. Em *Memórias do cárcere*, por exemplo, ele se recusa a se chamar pelo próprio nome.”

O caráter subjetivo dos conflitos vividos na prisão, explorados por Graciliano no livro, é apontado por Alves como um dos fatores que explicam a recepção discreta da obra na imprensa comunista da época. Ao relatar o pedido de desculpas de um capitão do Exército após um desentendimento durante o período de detenção, o escritor admite rever sua visão sobre os militares: “O meu juízo a respeito dos militares desmoronava-se, um sujeito de farda aplicara-me lição bem rude”, escreve. Segundo Alves, a perspectiva apresentada na obra não é puramente ideológica nem dogmática e os personagens reais aparecem em suas nuances existenciais. “Além disso, ele não se furta a fazer críticas aos rumos que o PCB vinha tomando, o que certamente não agradou a seus dirigentes”, afirma o pesquisador.

Com a entrada da obra de Graciliano em domínio público, *Memórias do cárcere* também ganhou nova edição pela Penguin-Companhia das Letras, em 2025. De forma inédita, o volume reúne 11 capítulos reescritos pelo autor para publicação na imprensa e foi organizado pela crítica literária Ieda Lebensztayn, que pesquisou o autor no mestrado, no doutorado e no pós-doutorado na USP, com apoio da FAPESP. Trata-se de versões diferentes das publicadas originalmente em 1953 e que serviram de base para as edições posteriores. Para estabelecer o novo texto, Lebensztayn, além de ter localizado os 11 capítulos reescritos, cotejou os originais publicados pela José Olympio e os datiloscritos corrigidos pelo próprio escritor, preservados na Fundação Casa de Rui Barbosa, no Rio de Janeiro. O trabalho permitiu identificar três passagens ausentes nas versões em circulação até agora.

Atualmente, Lebensztayn trabalha em parceria com Salla na edição da correspondência inédita de Graciliano com outros escritores, como Jorge Amado (1912-2001). Os pesquisadores encontraram as cartas em diferentes arquivos pelo Brasil, entre eles o do Instituto de Estudos Brasileiros da USP, que guarda mais de 15 mil documentos relacionados ao autor. O material deve ser publicado em 2026. “Ao longo desse trabalho, foi possível compreender a obsessão de Graciliano por aprimorar o texto, o que pode ser visto, em um primeiro momento, como um desejo de comunicação com o público”, analisa a crítica literária. “Mas acredito que essa obstinação em ‘consertar’ a escrita também funciona como um reflexo formal do seu desejo de corrigir as injustiças e desigualdades do mundo, marcas que atravessam toda a sua obra.” ●

O projeto, o dossiê e os livros consultados para esta reportagem estão listados na versão on-line.

Novas edições da obra de Graciliano publicadas pela Todavia (*as três primeiras, a partir do alto*) e pela Penguin-Companhia das Letras

LINGÜÍSTICA



Na escuta contra o crime



Especialistas em fonética forense analisam vozes e modos de falar para auxiliar a investigação de delitos

MÔNICA MANIR — ilustrações JULIA JABUR

Ramo da linguística dedicado ao estudo dos sons da fala humana, a fonética tem uma subárea que vem ganhando espaço não apenas na academia como também entre peritos criminais: a fonética forense. Trata-se da aplicação de técnicas de análise de fala para caracterizar quem está falando em gravações obtidas pela polícia e, a partir disso, utilizar essas informações como evidência em investigações. A possibilidade de empregar conhecimento científico em uma prática concreta atrai não apenas especialistas do próprio campo da linguística, como também de outras áreas, como engenharia. “É importante para nós, linguistas, ter esse olhar voltado à aplicação dos nossos estudos na solução de demandas sociais”, afirma Cláudia Regina Brescancini, do Programa de Pós-graduação em Letras da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUC-RS).

A “comparação de locutor” é a aplicação mais tradicional da fonética forense. O método consiste em confrontar uma amostra de autoria desconhecida – chamada de questionada, como um áudio de escuta telefônica – com a voz de um ou mais suspeitos por um crime, denominada amostra de referência ou padrão. Com base em estudos de anatomia do trato vocal, da análise acústica e de informações sobre o contexto em que vivem os indivíduos, é possível avaliar a probabilidade de que as duas amostras pertençam, ou não, à mesma pessoa.

Como sociolinguista, Brescancini se dedica ao estudo das variações sonoras, ou seja, variações de pronúncia que não afetam o significado das palavras ou frases e que são motivadas por fatores tanto linguísticos quanto sociais. Uma dessas questões é a geográfica, relacionada às diferentes colonizações de uma região. Nesse cenário, o português falado no Brasil representa um desafio para a fonética forense. “Nosso país é um baú de sotaques”, constata a pesquisadora. Ela destaca o “s” chiado, característico da influência portuguesa e açoriana em cidades como Rio de Janeiro, Recife e Florianópolis, e o chamado “r” caipira, típico do interior paulista, do sul de Minas Gerais e de Goiás.

Porém as variações sonoras não são determinadas apenas pelo local onde se vive. Pessoas com maior nível de escolaridade, por exemplo, tendem a apresentar padrões linguísticos distintos daquelas com menor escolaridade. Há ainda diferenças associadas ao gênero. Em geral, a voz masculina apresenta mais nasalidade e crepitação, enquanto a feminina tende à soproidade, à suavidade. Além disso, muitas pessoas circulam pelo país incorporando sotaques. “A migração traz um tempero a mais nessa variação”, afirma Brescancini. No caso de suspeitos por crimes, o histórico de confinamento por longos períodos em penitenciárias acrescenta outra complexidade: o contato de diferentes dialetos em razão do convívio entre presos de origens diversas.

Além da similaridade, os peritos precisam considerar a tipicidade: o grau de raridade de um determinado traço linguístico. Mesmo quando há forte semelhança entre os áudios comparados, se as características observadas no material questionado forem comuns na população à qual se supõe que o suspeito pertença, o valor probatório da evidência diminui. Brescancini é coautora de um artigo sobre tipicidade publicado em 2024 no periódico *Cadernos de Estudos Linguísticos*, da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). “Na comparação de locutor, é preciso avaliar em que medida similaridade e tipicidade sustentam a hipótese de que duas amostras provenham do mesmo aparelho fonador, ou seja, da mesma pessoa”, diz. “A resposta será sempre em termos de probabilidade.”

Diante desse cenário, Brescancini e a perita criminal Cíntia Schivinski Gonçalves, doutora em linguística pela PUC-RS, vêm desenvolvendo um método voltado a auxiliar peritos oficiais no tratamento das variações sonoras. A primeira versão da proposta virou um dos capítulos do livro *Análise fonético-forense: Em tarefa de comparação de locutor* (Editora Millennium, 2020), coorganizado pelo linguista Plínio Barbosa, do Instituto de Estudos da Linguagem da Unicamp, onde coordena o Grupo de Estudos de Fonética Forense (Geff).

Fruto da parceria entre o Geff e a Escola Superior do Ministério Público de São Paulo, a obra é resultado de projeto realizado por Barbosa entre 2016 e 2018 na Unicamp com apoio da FAPESP. Primeiro, o livro apresenta os procedimentos para o ensino sistemático e a aplicação da análise de comparação de locutor no contexto forense. Na sequência, pesquisadores detalham técnicas fonético-acústicas ou sociolinguísticas relacionadas a esse tipo de comparação.

Para Barbosa, o principal desafio da fonética forense enquanto ciência é a busca por parâmetros de comparação mais robustos. Ele ressalta que houve avanço na área com a popularização de áudios obtidos por aplicativos de mensagem, como o WhatsApp. “Antigamente, a maioria das amostras vinha da telefonia fixa ou do celular, cujas bandas alcançam no máximo 3.400 Hertz (Hz) de frequência”, conta. Esse limite dificultava a análise de segmentos que podem ser diferenciadores de indivíduos, como a pronúncia do “s”, que ultrapassa essa faixa. A frequência do WhatsApp, de até 8 mil Hz, ampliou o espectro da investigação.

O efeito da transmissão telefônica na fala foi objeto de estudo da linguista Renata Passetti tanto no mestrado (2015) quanto no doutorado (2018) realizados na Unicamp, ambos com apoio da FAPESP. “Quando nos comunicamos pelo telefone, adotamos inconscientemente algumas modificações acústicas e prosódicas que caracterizam esse tipo de interação”, afirma a pesquisadora. Prosódia é o componente da linguagem oral relacionado à sua musicalidade, que abrange aspectos como ritmo e acentuação, ajudando a transmitir emoções e intenções.

Passetti também investigou bancos de dados de língua portuguesa no Brasil, destacando seu potencial como apoio para a comparação de locutor na avaliação da tipicidade de traços linguísticos. Esses acervos reúnem tanto registros brutos de fala do português brasileiro quanto atlas linguísticos, nos quais os dados já foram sistematizados e analisados. O levantamento desse material é realizado principalmente por linguistas, dialetólogos e geolinguistas vinculados a centros de pesquisa.

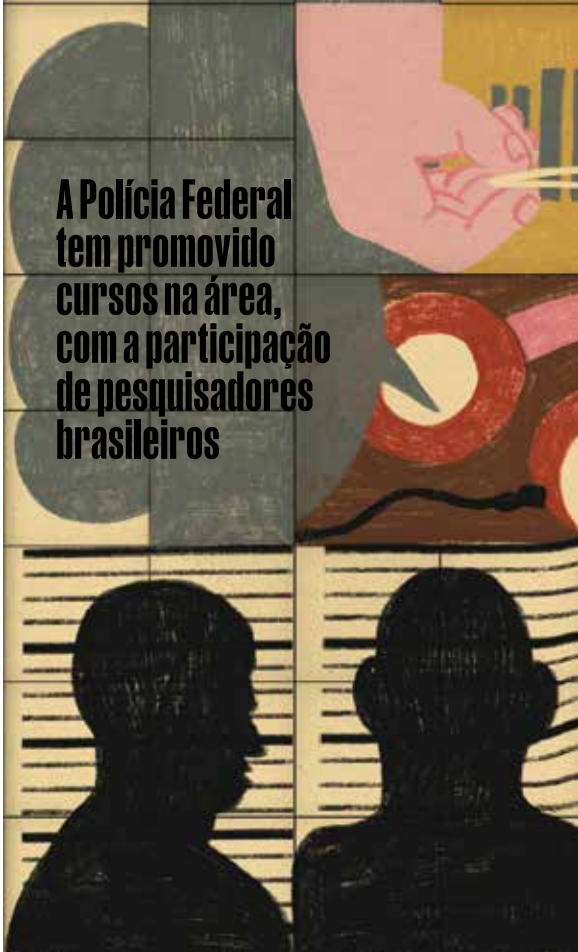
A pesquisadora assina com os linguistas Pablo Arantes e Daniel Fonseca Vieira, ambos da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), um artigo publicado em 2025 no qual avaliam acervos que registram variações em diferentes níveis da língua: o lexical (diferenças no vocabulário usado para expressar o mesmo conceito, sem alteração de sentido), o sintático (variações na construção, organização e ordem das palavras em frases e

orações) e o conversacional (a adaptação da língua ao contexto, ao falante e ao grupo social). “Dos 45 acervos analisados, apenas 13 possuem áudios, material essencial para a fonética forense, e 46% dessa parcela estão concentrados no Sudeste”, informa Arantes, coordenador do Laboratório de Fonética da UFSCar. “Não identificamos acervos com amostras de áudio provenientes de falantes das regiões Centro-Oeste e Norte.”

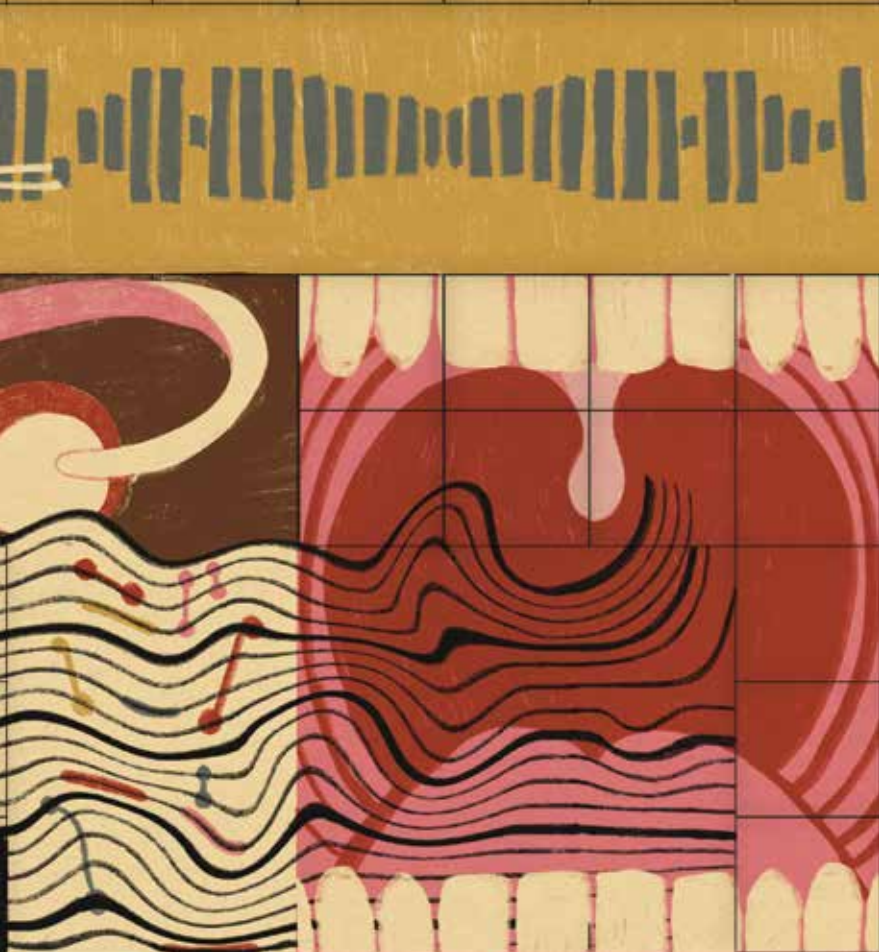
Nos Países Baixos, um dos centros de referência mundial em fonética forense, há um conhecimento acústico avançado dos diferentes modos de falar, resultado sobretudo do trabalho do Instituto Forense dos Países Baixos (NFI, na sigla em inglês), em Haia, vinculado ao Ministério da Segurança e Justiça. A Suécia também abriga um centro de excelência: o Instituto Real de Tecnologia (KTH), em Estocolmo, que vem avançando no reconhecimento de falantes com o uso de inteligência artificial (IA).

É no KTH que Julio Cesar Cavalcanti realiza atualmente estágio de pós-doutorado, com apoio da FAPESP, como desdobramento de sua pesquisa na Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (PUC-SP). Com doutorado em linguística pela Unicamp, defendido em 2021, ele tem analisado a transparência dos modelos de IA aplicados à identificação de autoria de voz. “Há um problema ético em permitir que uma máquina ou um modelo de IA incrimine um ser humano sem que se compreendam exatamente os critérios utilizados para chegar a essa conclusão”, alerta.

Em artigo publicado em 2024 no periódico *Frontiers in Artificial Intelligence*, Cavalcanti, Barbosa, o linguista sueco Anders Eriksson, da Universidade de Estocolmo, e o perito da Polícia Federal (PF) Ronaldo Rodrigues da Silva analisaram gravações de 20 pares de gêmeos idênticos do sexo masculino em diálogos e entrevistas espontâneas. Os resultados evidenciam o desafio significativo que gêmeos idênticos impõem aos sistemas automáticos de reconhecimento de falantes, uma tecnologia de IA voltada à comparação de vozes com base em características acústicas individuais. Segundo o estudo, vozes humanas carregam mar-



A Polícia Federal tem promovido cursos na área, com a participação de pesquisadores brasileiros



cas individualizantes importantes, mas o caso dos gêmeos idênticos mostra que essa individualidade não deve ser tratada como absoluta. “Há diferentes graus de semelhança vocal, e algumas vozes podem ser especialmente difíceis de distinguir até mesmo pela IA”, comenta Cavalcanti.

Por causa de desafios assim, desde 2007, a PF oferece cursos de capacitação em comparação de locutor, com participação de universidades brasileiras, entre elas Unicamp, PUC-SP, PUC-RS, UFSCar e Universidade de Brasília (UnB). Até o momento, foram realizados cinco ciclos de formação, com intervalos médios de dois anos entre eles, ministrados no Instituto Nacional de Criminalística (INC), em Brasília, com a participação do Serviço de Perícias em Audiovisual e Eletrônicos do próprio instituto.

Os cursos são voltados aos peritos da PF e também aos que atuam nos institutos de criminalística dos governos estaduais e do Distrito Federal. O mais recente ocorreu entre 2021 e 2023. Nessas formações, os profissionais aprendem a analisar registros de áudio por meio de softwares de análise acústica, como o Praat (“falar”, em holandês), e, em uma etapa posterior, recebem instruções de pesquisadores sobre linguística, fonética, sociolinguística e etiquetagem, processo que consiste em converter o sinal sonoro em dados anotados, permitindo comparações mais sistemáticas.

Além disso, os peritos analisam a qualidade vocal, tema central das pesquisas da linguista Sandra Madureira, do Programa de Pós-graduação em Linguística Aplicada e Estudos da Linguagem da PUC-SP. “A singularidade de cada voz não resulta apenas da vibração das pregas vocais, mas também da maneira recorrente como posicionamos os órgãos articulatórios da fala, como os lábios”, explica Madureira, uma das líderes do Grupo de Pesquisa em Estudos sobre a Fala, da mesma instituição. “A voz é influenciada ainda por fatores fisiológicos, como o prognatismo [projeção da mandíbula, por exemplo], e por hábitos, como o tabagismo.”

Madureira, Barbosa, Passetti, Arantes e Brescancini lecionaram em cursos da PF, mas, por força da legislação, não poderiam ingressar na carreira de perito criminal federal, caso desejassem. O Decreto nº 5.116, de 24 de junho de 2004, não inclui linguistas e fonoaudiólogos entre as formações habilitadas para o cargo.

Segundo o engenheiro elétrico André Luiz da Costa Morisson, chefe do Serviço de Perícias em Audiovisual e Eletrônicos da PF, seis peritos federais especializados em fonética forense, todos com formação em engenharia, compõem hoje a equipe do órgão. “Produzimos cerca de 50 laudos por ano”, contabiliza. O espectro de apurações abrange desde crimes eleitorais e tráfico de drogas a casos de abuso sexual infantil e difamação. “Nossas conclusões não se baseiam em resultados categóricos, mas em avaliações de natureza probabilística”, diz.

Morisson explica que todo resultado de perícia apresenta uma escala de probabilidade de nove pontos, que vai do - 4 (quando é muitíssimo mais provável que a evidência seja obtida caso as amostras padrão e questionada pertençam a pessoas diferentes) ao + 4 (quando é muitíssimo mais provável que a evidência seja obtida caso as amostras pertençam à mesma pessoa). O zero seria inconclusivo.

Nesse sentido, os pesquisadores ouvidos para esta reportagem ressaltam de forma unânime que, apesar dos avanços na precisão da técnica, os resultados da fonética forense devem ser interpretados como parte de um quadro mais amplo de evidências. “A comparação de locutor é um elemento adicional na investigação, não o único. É fundamental considerar outros vestígios, que, em conjunto com a voz, ajudam a compor o contexto do crime”, conclui Arantes. ●

Os projetos, os artigos científicos e o livro consultados para esta reportagem estão listados na versão on-line.

A engrenagem atlântica

O historiador Fernando Novais associou colonização e tráfico de escravizados à formação do capitalismo

FERNANDA RAVAGNANI

ff **S**ou um historiador marxista, não um marxista historiador.” “Não é a escravidão que justifica o tráfico, é o tráfico que justifica a escravidão.” “O cientista social reconstitui para explicar, enquanto o historiador explica para reconstituir os acontecimentos passados.” As máximas que o historiador Fernando Antonio Novais proferia em aulas, palestras e entrevistas denotam a preocupação com a didática e revelam temas fundamentais de seu trabalho acadêmico ao longo de quase sete décadas. Autor do livro *Portugal e Brasil na crise do antigo sistema colonial (1777-1808)*, publicado em 1979 pela editora Hucitec e considerado um dos clássicos da historiografia brasileira, ele morreu no dia 30 de abril, aos 93 anos, em São Paulo.

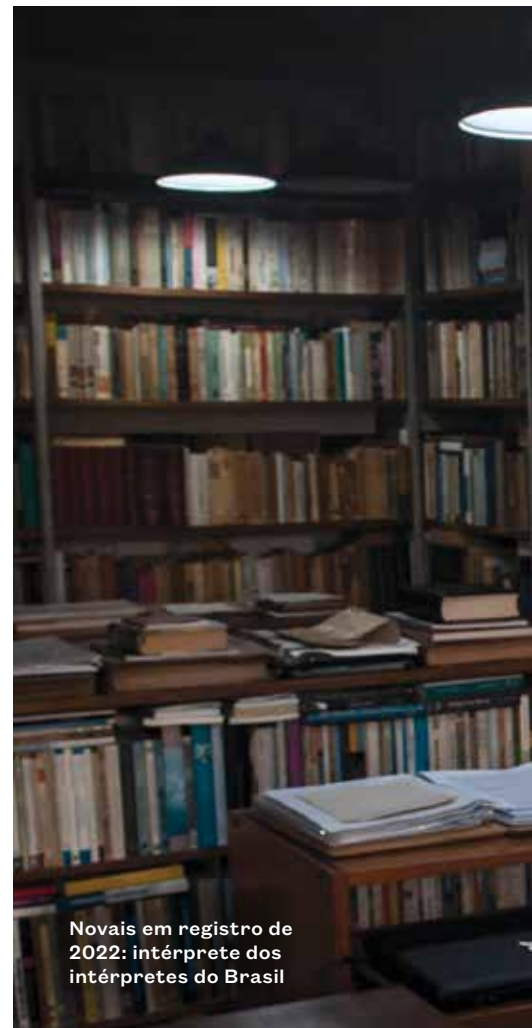
“Com essa obra, Novais propôs uma nova forma de pensar a colonização e impactou o debate historiográfico, inclusive em âmbito internacional”, afirma o historiador Pedro Puntoni, da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo (FFLCH-USP), referindo-se ao livro, reeditado em 2019 pela Editora 34, que o classifica como “incontornável”. A obra é resultado da tese de doutorado defendida por Novais na USP em 1973. Sua repercussão, porém, veio antes do lançamento do livro. Em 1974, o segundo capítulo da tese foi publicado em caderno do Centro Brasileiro de Análise e Planejamento (Cebap) e, no ano seguinte, saiu também em Portugal.

“Quando eu estava na graduação, no início dos anos 1980, a tese de Novais era uma novidade e teve enorme impac-

to sobre nossa interpretação do período colonial”, lembra Junia Furtado, do Programa de Pós-graduação em História da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). “Ele formulou uma maneira de compreender o Brasil a partir do Brasil, articulando esse ponto de vista a processos mais amplos. Entre outras coisas, mostrou como a escravidão aqui exigiu a organização de um sistema produtivo muito distinto daquele observado na Europa durante a transição do mundo medieval para o capitalismo.”

Na tese, Novais foi orientado pelo historiador Eduardo d’Oliveira França (1917-2003), de quem se disse um eterno discípulo em entrevista a *Pesquisa FAPESP*, em 2022. Influenciado pela obra dos historiadores Caio Prado Jr. (1907-1990) e Fernand Braudel (1902-1985), o trabalho é considerado um dos principais frutos do chamado Seminário Marx, realizado entre 1958 e 1964, sob liderança do filósofo José Arthur Giannotti (1930-2021). Nesses encontros, um grupo de jovens pesquisadores lia *O capital*, de Karl Marx (1818-1883), sob uma perspectiva acadêmica, distinta da abordagem político-partidária que predominava à época.

“Giannotti chamou Fernando Henrique Cardoso, pelo lado da sociologia, e Novais, pelo viés da história. Eles formaram o ‘núcleo duro’ do seminário, ao qual depois se juntaram nomes como Octavio Ianni [1926-2004], Michel Löwy, Roberto Schwarz, Bento Prado Jr. [1937-2007], Ruy Fausto [1935-2020] e Paul Singer [1932-2018]”, conta a historiadora Lidianne Soares Rodrigues, coordenadora do Programa de Pós-gradua-



Novais em registro de 2022: intérprete dos intérpretes do Brasil

ção em Ciências Humanas e Sociais da Universidade Federal do ABC (UFABC), que estudou o Seminário Marx no doutorado defendido na FFLCH-USP, em 2012. “A tese de Novais, de que o tráfico de escravizados acelerou a acumulação primitiva de capital na Europa, não teria sido possível sem a leitura que ele e os colegas fizeram da obra de Marx.”

O pesquisador nasceu em Guararema, passou a infância em Colina e a adolescência em São José do Rio Preto, todas cidades do interior paulista. Mudou-se para a capital aos 15 anos e, em 1958, formou-se pela USP em história e geografia (à época, um curso conjunto). Pouco depois, em 1961, foi contratado como professor de história moderna e contemporânea pela mesma instituição, onde permaneceu até se aposentar, em 1986.

Naquele ano, passou a integrar o recém-criado Instituto de Economia da Universidade Estadual de Campinas (IE-Unicamp). “Ele foi fundamental para a



construção do nosso programa de História Econômica”, afirma o economista Luiz Gonzaga de Mello Belluzzo, docente do IE-Unicamp e um dos fundadores da Faculdade de Campinas (Facamp) nos anos 1990, na qual Novais também lecionou a partir de 2003. “Devemos muito a ele a ampliação do debate para além dos modelos econômicos. Discutíamos bastante as limitações da chamada ciência econômica que, ao adotar uma perspectiva positivista, passou a privilegiar modelos e deixou em segundo plano os processos sociais.”

Na década de 1990, Novais dirigiu a coleção *História da vida privada no Brasil* (Companhia das Letras), composta por quatro volumes, todos vencedores do Prêmio Jabuti. Cada tomo foi coordenado por um historiador, respectivamente: Laura de Mello e Souza, Luiz Felipe de Alencastro, Nicolau Sevcenko (1952-2014) e Lília Schwarcz. Crítico da fragmentação associada à Nova História

“Não é a escravidão que justifica o tráfico, é o tráfico que justifica a escravidão”, dizia o historiador

(corrente surgida na França nos anos 1980, que ampliou o escopo da disciplina em contraposição ao estruturalismo e ao marxismo), Novais dizia que, com a quebra dos paradigmas, os historiadores haviam “mudado de assunto” e passado a se dedicar aos “amores, humores e odores” do cotidiano. Ainda assim, procurou

conciliar na coleção os princípios que até então haviam orientado sua obra.

“No capítulo ‘Condições de privacidade na colônia’, que abre o primeiro volume, Novais dialoga e, em certa medida, revê a interpretação de Gilberto Freyre [1900-1987], ao mostrar que o fenômeno da miscigenação não se reduz às relações interculturais, mas assumiu também dimensões políticas e socioeconômicas na colonização. Foi, ao mesmo tempo, um canal de aproximação e uma forma de dominação, um espaço de acomodação e um território de enrijecimento do sistema escravista. A mestiçagem articulou relações de dependência e hierarquia social baseadas na discriminação de cor, religião e estatuto”, analisa a historiadora Iris Kantor, da FFLCH-USP, que foi orientada por Novais no mestrado (1996) e no doutorado (2002) na mesma instituição. “Ele foi intérprete dos intérpretes do Brasil, e um leitor voraz da literatura sociológica, antropológica e política.”

O último capítulo do quarto volume da coleção é assinado por Novais em parceria com o economista João Manuel Cardoso de Mello, professor aposentado da Unicamp e também fundador da Facamp. No texto “Capitalismo tardio e sociabilidade moderna”, a dupla discorre sobre as mudanças de consumo no país a partir da década de 1950. “Ele não gostava muito dessa temática contemporânea. Costumava dizer que o mundo havia perdido a graça no século XVIII”, diverte-se Mello.

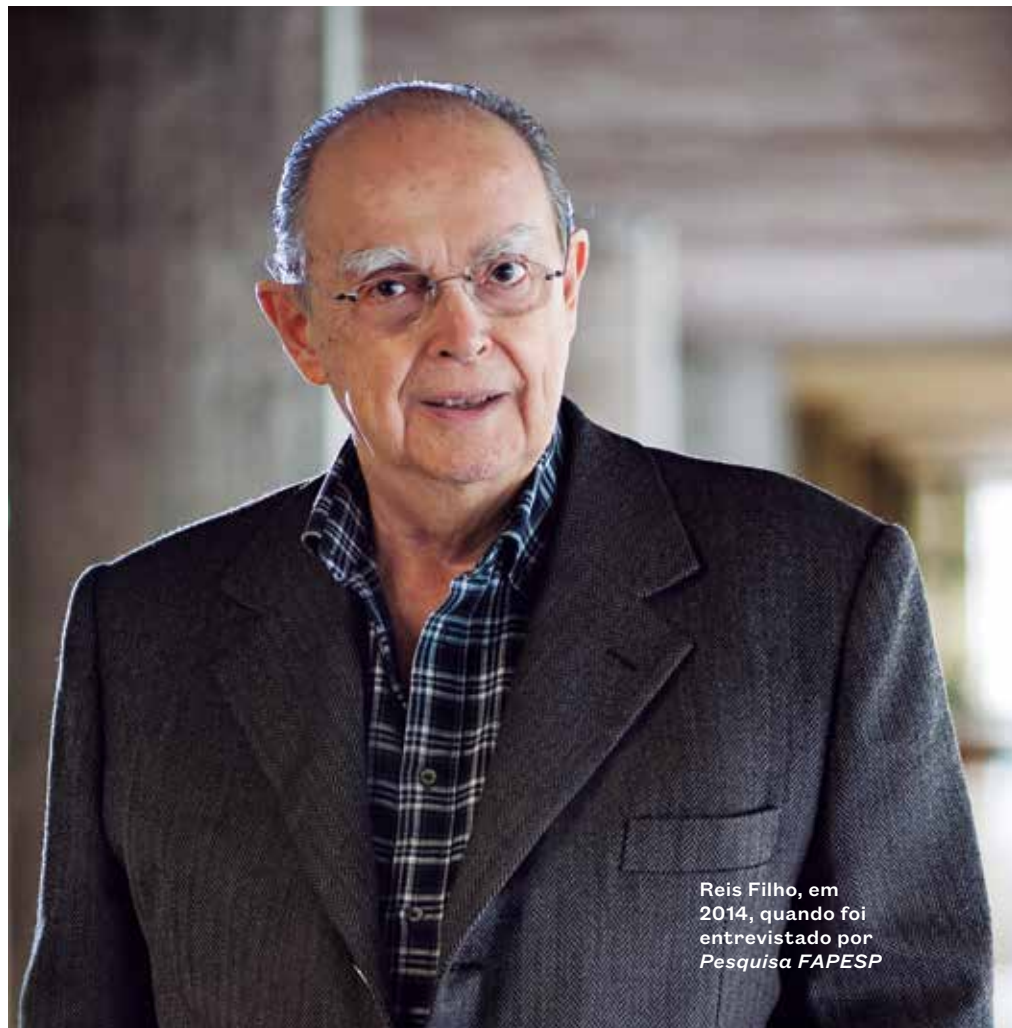
O historiador é lembrado pelo anti-dogmatismo, pela aversão a polêmicas e pela desenvoltura em sala de aula, espaço do qual nunca se afastou. A convite de Puntoni, ministrava todos os anos a aula de encerramento do curso de História colonial na USP. Também lecionou na Universidade do Texas (EUA), na Universidade de Paris (França), na Universidade de Louvain (Bélgica), na Universidade de Coimbra e na Universidade de Lisboa, ambas em Portugal. Em 2006, recebeu o título de professor emérito da FFLCH-USP.

Intelectualmente ativo até os últimos dias, Novais não resistiu a complicações de um infarto sofrido em fevereiro. Deixa dois filhos, o economista Luis Fernando e a editora Ana Lúcia, além de quatro netos e três bisnetos. ●

Pensar com os olhos

Nestor Goulart Reis Filho consolidou os estudos sobre a urbanização no Brasil ao articular arquitetura, história e uma vasta coleção de imagens

EDUARDO MAGOSI



Reis Filho, em 2014, quando foi entrevistado por Pesquisa FAPESP

“Olha aqui. Você notou esse detalhe?”, indagou o arquiteto e professor emérito da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e de Design da Universidade de São Paulo (FAU-USP) Nestor Goulart Reis Filho à historiadora Beatriz Piccoloto Siqueira Bueno, sua colega naquela instituição de ensino. Na ocasião, os dois selecionavam fotografias de construções arquitetônicas erguidas em Salvador (BA), no século XVIII, para a capa do próximo livro do arquiteto, *Quadro da urbanização e do urbanismo no Brasil*, previsto para ser lançado em 2026, pela Edusp. “Foi em março deste ano. Ao olhar a fotografia, notou um canal não documentado, possivelmente uma obra que não chegou a ser realizada”, conta a pesquisadora. “Ele permaneceu atento a novas descobertas até o fim.”

Morto em 18 de abril, aos 95 anos, Reis Filho deixa um legado intelectual e institucional construído ao longo de sete décadas. “Seu nome é indissociável do

campo disciplinar da história da urbanização e do urbanismo no Brasil, área que ajudou a criar ao incorporar a contextualização histórica ao entendimento da arquitetura”, afirma Bueno, parceira acadêmica do pesquisador desde 1989. “Outras marcas de sua trajetória são a relação umbilical com a FAU, onde foi aluno, docente e diretor, bem como a preocupação com a preservação do patrimônio histórico brasileiro.”

Nascido na capital paulista, Reis Filho graduou-se na FAU em 1955. Um ano depois foi convidado para ser assistente do professor Eduardo Kneese de Mello (1906-1994) na cadeira de Arquitetura do Brasil, na mesma faculdade. Entre 1956 e 1962, cursou ciências sociais, também na USP. “Logo que me formei, constatei que havia pouca base teórica entre os arquitetos. Então resolvi estudar ciências sociais, e fui aluno de Florestan Fernandes [1920-1995], Fernando Henrique Cardoso, Egon Schaden [1913-1991]. Tenho

dupla formação porque queria aperfeiçoar meu trabalho de pesquisa em história da arquitetura e do urbanismo”, contou em entrevista concedida a *Pesquisa FAPESP* em 2014.

Na reforma curricular da FAU, implantada em 1962 pelo então diretor, o sociólogo e historiador da arte Lourival Gomes Machado (1917-1967), Reis Filho organizou e foi o primeiro responsável pela cátedra História da Arquitetura Contemporânea e Evolução Urbana, uma novidade no país. De 1972 a 1976, dirigiu a faculdade, que no final da década de 1960 havia se transferido para o *campus* do Butantã, passando a ocupar um prédio desenhado pelo arquiteto João Batista Vilanova Artigas (1915-1985), docente da instituição.

“Até então não havia pós-graduação na FAU; durante a gestão de Nestor é que foi criado, em 1972, o programa de mestrado”, conta o arquiteto Lúcio Gomes Machado, filho de Lourival e professor da faculdade. “Ele não apenas consolidou o campo de pesquisa e modernizou a estrutura acadêmica da faculdade, como era também preocupado com a infraestrutura do prédio.” Ao longo de sua trajetória na FAU, o arquiteto ajudaria a instituir laboratórios de pesquisa. É o caso do LAP – Laboratório de Estudos sobre Urbanização, Arquitetura e Preservação, que criou em 1992 e permanece ativo.

Em 1973, Reis Filho participou da fundação da então Associação Brasileira de Escolas de Arquitetura (Abea), que presidiu entre 1975 e 1978. Nessa época, comandou a Empresa Municipal de Urbanização de São Paulo (Emurb), de 1975 a 1979, e o Conselho de Defesa do Patrimônio Histórico, Arqueológico, Artístico e Turístico (Condephaat), de São Paulo, de 1975 a 1980, órgão que ajudou a criar em 1968.

A defesa do patrimônio permearia seu percurso. Na USP, criou em 1987 a Comissão do Patrimônio Cultural, que, em 2002, se tornaria o Centro de Preservação Cultural – Casa de Dona Yayá, hoje órgão da Pró-reitoria de Cultura e Extensão Universitária. Antes, teve atuação fundamental na instituição do primeiro curso nacional de especialização em restauração para arquitetos, realizado na FAU em 1974, fruto da articulação entre a universidade, o Instituto do Pa-

trimônio Histórico e Artístico Nacional (Iphan) e o Condephaat.

Entre 1999 e 2010, atuou como conselheiro do Iphan. Na oportunidade, foi relator de quatro processos de tombamento de conjuntos urbanos, como o conjunto arquitetônico e paisagístico do bairro da Luz, na capital paulista, em 2000. Participou ainda do processo de tombamento em série dos bens representativos do conjunto da obra do arquiteto Oscar Niemeyer (1907-2012), em 2007.

A fotografia era outra paixão. “Ele era um fotógrafo de mão cheia”, comenta Bueno. “Ensinou várias gerações de pesquisadores a pensar também com os olhos.” O arquiteto costumava usar seu acervo com mais de 40 mil imagens, não apenas de fotos, mas também de desenhos e mapas, quando elaborava pesquisas e livros. Esse material iconográfico, recolhido desde a década de 1960, pôde ser apreciado pelo público na exposição *Imagens de cidades e vilas do Brasil colonial*, em 2000, no Museu de Arte de São Paulo (Masp). O livro, de mesmo título, foi lançado pela Edusp no ano seguinte.

Reis Filho publicou quase quatro dezenas de títulos. Entre eles, figura o clássico *Quadro da arquitetura no Brasil* (Perspectiva, 1970), compilação de artigos para o suplemento literário do jornal

O Estado de S. Paulo que até hoje integra a bibliografia de cursos de arquitetura e urbanismo do Brasil. Também constam da lista *Dois séculos de projetos no estado de São Paulo: Grandes obras e urbanização 1800-2000* (Edusp/Imprensa Oficial, 2012) e *As minas de ouro e a formação das capitâneas do Sul* (Editora Via das Artes, 2014), que venceram o Prêmio Jabuti na categoria Arquitetura.

Seu primeiro livro, *Evolução urbana no Brasil (1500-1720)*, saiu em 1968, pela Livraria Pioneira Editora. Trata-se do desdobramento da tese de livre-docência que defendeu na FAU em 1964. Na obra, ao contrário da interpretação do historiador Sérgio Buarque de Holanda (1902-1982), ele mostra que a urbanização brasileira não foi fruto do acaso, mas articulada pela Coroa portuguesa e executada por engenheiros militares para defender o território de ataques externos e, simultaneamente, favorecer a exploração econômica, sobretudo do açúcar e dos minerais. “Nesse trabalho, ele contextualiza a discussão sobre o processo de urbanização, antecipando um debate que ganharia força mais tarde na Europa, a partir dos anos 1970”, afirma Bueno.

O título deve ser relançado este ano pela Edusp. No final de 2025, a casa editorial publicou o inédito *Arquitetura e urbanismo nos primeiros tempos – Outras fontes, outras leituras*. Nele, Reis Filho se debruçou sobre seis desenhos do século XVII, depositados na Real Academia de la Historia, de Madri, para iluminar aspectos do início da urbanização do Brasil.

O pesquisador abordou em seus livros e demais estudos uma ampla variedade de temas, sempre tendo o Brasil como eixo central. “Nestor produziu estudos sobre diferentes regiões do país, abrangendo diversas épocas. Em geral, especialistas no período colonial não se dedicam ao contemporâneo, mas ele estava entre aqueles que quebravam essa regra”, observa o arquiteto Nivaldo Andrade, da Universidade Federal da Bahia (UFBA). Nas duas últimas décadas, os trabalhos de Reis Filho se voltaram sobretudo à urbanização dispersa, à cartografia urbana e ao papel das grandes obras na estruturação do espaço urbano.

O arquiteto deixa a filha, Renata, dois netos e um bisneto. ●

O pesquisador reuniu um acervo com mais de 40 mil imagens que inclui fotografias, desenhos e mapas

O maestro dos transplantes

Silvano Raia fez a primeira cirurgia bem-sucedida de substituição de fígado da América Latina e foi pioneiro no mundo no uso do órgão doado por pessoas vivas

FERNANDA RAVAGNANI

No dia em que completou 55 anos, em 1985, o cirurgião Silvano Raia realizou o que poderia ser o grande feito de sua carreira: o primeiro transplante de fígado bem-sucedido da América Latina.

Não estava satisfeito. Três anos depois, idealizava e executava o primeiro transplante hepático com doador vivo da literatura médica, abrindo uma avenida que proporcionou sobrevida a milhares de pessoas. Ainda assim não se contentou. Ao morrer, em 28 de abril, aos 95 anos, perseguia o sonho de, com a ajuda da engenharia genética e dos animais, dar a todos que precisem de um transplante a chance de receber um órgão.

“Era um trator. Não aceitava não como resposta”, lembra o colega e discípulo Paulo Massarollo, da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (FM-USP). Em sua sala na Unidade de Fígado do Hospital das Clínicas da FM-USP, que criou em 1975, Raia mantinha, ao lado de seus aquários marinhos, a citação do arqueólogo e escritor T. E. Lawrence (1888-1935) sobre os homens que sonham de olhos abertos.

Na autobiografia *O impossível é apenas o começo* (Editora Labrador, 2025), o duplo titular da USP – em cirurgia experimental e em clínica cirúrgica – descreveu seus lemas: pensar sempre no desafio seguinte, liderar de forma multidisciplinar e raciocinar de modo horizontal, dando espaço à criatividade.

Ao montar a Unidade de Fígado, Raia escolheu autoridades de diferentes especialidades para integrá-la, contrapondo-se à liderança centralizadora, experi-

mentada ao cursar medicina na USP, de seu mentor, o cirurgião Edmundo Vasconcelos (1905-1990).

A inspiração para o estilo de liderar, que Massarollo compara ao de um maestro, veio da hepatologista irlandesa Sheila Sherlock (1918-2001), com quem Raia estagiou no Royal Free Hospital, em Londres, em 1964. Formado em 1956, estava decidido a trazer para o Brasil o transplante de fígado, tentado sem sucesso nos Estados Unidos e na França. Para isso, decidiu estudar hepatologia clínica. Recebeu o título de doutor (PhD) pela Universidade de Londres em 1965 ao descrever, em um artigo na revista *Nature*, uma técnica de separação de dois tipos de bilirrubina (pigmento produzido pela quebra das hemácias). No mesmo ano, defendeu o doutorado na USP com um trabalho sobre o tratamento cirúrgico da esquistossomose mansônica, orientado por Vasconcelos.

Mais tarde, Raia realizou um estudo inédito comparando três técnicas cirúrgicas para evitar hemorragias no esôfago decorrentes da esquistossomose. O resultado, uma das conquistas da Unidade de Fígado, consagrou a estratégia de Vasconcelos. Aliás, foi a vaga do seu tutor que ocupou na Academia Nacional de Medicina em 1991.

Aliar pesquisa e prática clínica era um dos princípios estabelecidos por Raia para a unidade, que ganhou o apelido de “Nasa”. A experiência da equipe com hepatectomias em suínos e ressecções em humanos a preparou para o primeiro transplante de fígado com doador falecido, realizado com sucesso por Raia e Sergio Mies em 1º de setembro de 1985.



Na sequência, um novo problema se apresentou: para crianças com doenças de fígado mal havia doadores. Raia tinha observado, ao retirar o lobo esquerdo do fígado de adultos, que o órgão se regenerava. Seu raciocínio, conforme relata no livro, gerou a expectativa de que, após retirar um segmento do fígado sadio de um adulto, em poucos meses o órgão remanescente se regenerasse assim como o segmento transplantado na criança.

A descrição dos primeiros transplantes hepáticos intervivos feitos no Brasil saiu na revista *The Lancet* em 1989, assinada por Raia, Mies e José Roberto Nery. “A técnica que ele primeiro aplicou hoje é usada em larga escala. Não é exagero dizer que ele contribuiu para salvar dezenas de milhares de vidas”, afirma o cirurgião-pediátrico Paulo Chapchap, que dirigiu o Hospital Sírio-Libanês e atualmente preside o conselho do Instituto Todos pela Saúde.

Razões religiosas que impediam a doação de órgãos em alguns países impulsio-



tário da Saúde da Prefeitura de São Paulo (1993-1995) e, a partir de 2011, atuou no Ministério da Saúde para desenvolver centros de captação e transplante de órgãos e a viabilização de transplantes inovadores.

Sob sua influência, centros de transplante de fígado brotaram pelo país. “Aprendi com uma medicina ousada, multidisciplinar, e iniciei no Recife um programa que hoje tem mais de 1.800 transplantes de fígado”, conta o cirurgião Cláudio Lacerda, da Universidade de Pernambuco (UPE), orientando de Raia no doutorado. “O transplante de fígado é milagroso. O paciente está para morrer e, três meses depois, recupera a saúde plena. O serviço que Raia prestou ao Brasil é imenso”, completa.

Inconformado com a falta de órgãos, Raia aproximou-se, já octogenário, do Centro de Estudos do Genoma Humano e Células-Tronco da USP (CEGH-CEL), um dos Centros de Pesquisa, Inovação e Difusão (Cepid) financiado pela FAPESP, e de sua então coordenadora, a geneticista Mayana Zatz, iniciando um projeto para tentar revascularizar órgãos sólidos com células-tronco. “O professor Silvano Raia percebeu a importância de juntar a parte cirúrgica com os avanços em biologia molecular”, destaca Zatz. “E se encantou com a ideia do xenotransplante.”

Desde 2022, Raia estava à frente do Centro de Ciência para o Desenvolvimento em Xenotransplante, apoiado pela FAPESP. Lá, com Zatz e Kalil, que o substituiu na liderança do projeto, trabalhava para modificar geneticamente suínos a fim de obter órgãos para humanos. Em março, comemorou o nascimento do primeiro porco clonado, passo inicial para a obtenção de animais geneticamente modificados.

Filho de italianos e sobrinho do fundador da rede de farmácias Droga Raia, Silvano Mário Attílio Raia reunia os amigos em almoços para bate-papos com hora marcada para terminar – a siesta era sagrada. “Foi um ser iluminado”, afirmou o arquiteto Julio Neves, com quem manteve 79 anos de amizade. Raia continuava tão atuante que sua morte foi encarada pelos colegas como precoce. Infecções e cirurgias recentes o debilitaram e, no fim de abril, um mal-estar súbito o levou. Divorciado três vezes, teve três filhas – Virgínia (falecida em 1998), Ana e Paula – e quatro netos. ●

naram a adaptação da técnica usada em crianças para receptores adultos. Raia gostava de lembrar o sucesso da abordagem ao citar os dados do Global Observatory on Donation and Transplantation, que contabiliza mais de 112 mil transplantes de fígado intervivos entre 2000 e 2024. “Era um empreendedor. Buscava a inovação em benefício dos pacientes e tinha uma preocupação central com o Sistema Único de Saúde”, ressalta Chapchap.

“Em 1986 organizamos a Associação Brasileira de Transplante de Órgãos [ABTO]”, conta o imunologista Jorge Kalil, da USP, próximo de Raia desde 1985. “Fui o primeiro diretor-presidente e ele foi o primeiro presidente do Conselho. Trabalhamos para que a distribuição de órgãos fosse equitativa, em vez de beneficiar pessoas com mais recursos ou influência”, lembra o imunologista.

Após a aposentadoria da USP, Raia passou a atuar em hospitais privados, e comandou, entre 2012 e 2015, um curso

Seus lemas eram pensar no desafio seguinte, liderar de forma multidisciplinar e raciocinar de modo horizontal

sobre captação de órgãos em 22 estados. Além de ter criado, com Mies, a Unidade de Fígado no Hospital Israelita Albert Einstein em 2002, deixou marcas administrativas. Em sua gestão como diretor da FM-USP (1982-1986), trabalhou pela criação da Fundação Faculdade de Medicina e pela consolidação dos Laboratórios de Investigação Médica (LIM). Foi secre-



memória

As bases da estatística no Brasil

No início do século XX, o médico Bulhões Carvalho implementou métodos de trabalho que ainda são usados

SUZEL TUNES

Em 9 de maio de 1826, como resultado dos debates da primeira legislatura do Brasil imperial, definiu-se a criação de uma Comissão de Estatística, sob o argumento irrefutável do senador Francisco de Assis Mascarenhas (1779-1843): “Sem termos a estatística, como conheceremos o Brasil?”. Nascia assim, oficialmente, a área de estatísticas oficiais, definida posteriormente como a produção e disseminação de informações por agências governamentais, com base em regulamentos administrativos, conceitos e definições apropriados, como forma de auxiliar o planejamento, a execução e o acompanhamento de políticas públicas. Por muito tempo, porém, o país continuaria praticamente desconhecido para seus gestores, após fazer censos incompletos ou inteiramente fracassados.

O Censo de 1920 seria um ponto de inflexão nesse cenário devido ao trabalho

do médico e demógrafo José Luiz Sayão de Bulhões Carvalho (1866-1940) à frente da Diretoria Geral de Estatística (DGE). “Ele foi o responsável pelo primeiro censo realmente bem-sucedido, resultado de um trabalho hercúleo, após cinco anos de preparação”, destaca o historiador Leandro Malavota, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), instituição formalizada em 1938, que herdou o acervo do DGE.

Até então, o país nunca havia planejado tão minuciosamente um recenseamento da população e da economia e nunca o fizera de forma tão ampla, ressalta o economista Nelson de Castro Senra, professor aposentado da Escola Nacional de Ciências Estatísticas (ENCE-IBGE) e autor de artigos e livros sobre a história da estatística no Brasil e Bulhões Carvalho.

“A visão que ele tinha da estatística era muito moderna para a época”, afirma



No centro do Rio de Janeiro, carros faziam propaganda do Censo de 1940, que seguiu os métodos implementados por Bulhões Carvalho

Senra. Segundo ele, foram promovidas iniciativas pioneiras, das quais a mais importante foi a unificação do trabalho estatístico a partir da organização da coleta de dados dos estados e municípios, sob a coordenação do DGE. “Bulhões Carvalho convenceu governadores, presidentes de província e chefes de setores estatísticos dos estados a trabalharem com ele. Até então não se produzia estatística em uníssono.” O demógrafo fez palestras de esclarecimento sobre o

censo e conseguiu o apoio da imprensa e da igreja na divulgação para a população. Na tabulação dos dados coletados, utilizou o que havia de melhor em tecnologia, as máquinas Hollerith.

A tabuladora mecânica criada pelo norte-americano Herman Hollerith (1860-1929) era usada no Census Bureau, principal agência estatística federal norte-americana, desde o fim do século XIX. No Brasil, a máquina – que acabaria se tornando mais conhecida pela emissão de comprovantes de rendimentos, convertendo o nome Hollerith em sinônimo de contracheque – foi essencial para o tratamento eficiente dos dados censitários dentro do prazo previsto.

Outra inovação do Censo de 1920 foi a apresentação dos resultados, com o uso de recursos visuais como gráficos, mapas, fotografias e ilustrações didáticas (ver Pesquisa FAPESP nº 289). De acordo com Senra, o emprego desses recursos já era conhecido em outros países; no Brasil, foi introduzido por Bulhões Carvalho.

O próprio demógrafo justificou a escolha do recurso gráfico em seu livro *Estatística: Método e aplicação* (Tipografia Leuzinger, 1933): “A utilidade dos gráficos

para esclarecer ou ilustrar as estatísticas é hoje universalmente reconhecida [...]. Uma simples curva, um pontilhado, a combinação de linhas coloridas, ou de colunas de vários matizes, tornam visível a influência numérica de certos fatos sociais. Suprem, às vezes, por uma noção precisa, instantânea e quase intuitiva, o comentário dos algarismos, não raro longo e enfadonho. Particularizam detalhes, dando ao mesmo tempo a ideia do conjunto”.

Os gráficos do Censo de 1920 foram também ampliados em grandes quadros e exibidos na *Exposição universal comemorativa do centenário da Independência*, no Pavilhão da Estatística, em 1922. A imprensa da época apelidou o local de “Pavilhão da Ciência da Certeza”.

Bulhões Carvalho nunca foi um estatístico graduado – o primeiro curso de formação universitária em estatística no Brasil surgiria apenas em 1953, com a criação da Ence. Ele era um médico – mais especificamente, um demógrafo sanitário. Carioca, formou-se em 1888 pela Faculdade de Medicina do Rio de Janeiro. Nessa época, a estatística já era bastante usada no estudo e combate de epidemias, como febre amarela, varíola e peste bubônica.

Em 1892, ele entrou para o serviço público como comissário da Inspetoria Geral de Higiene Pública. No ano seguinte, passou para o cargo de auxiliar na Seção de Demografia, sob a coordenação do médico Aureliano Portugal (1851-1924), pioneiro em demografia sanitária no Brasil, com quem teve um treinamento prático nessa área. Também em 1893 ele começou a publicar artigos na revista *Brasil-Médico* sobre as condições sanitárias da cidade do Rio de Janeiro. Em 1894, ocupou seu primeiro cargo de chefia, à frente da Seção de Demografia do recém-criado Instituto Sanitário Federal. Em um de seus relatórios, ele detalhou, com dados estatísticos, as razões da alta mortalidade pela peste bubônica, febre amarela e varíola.

Em 1907, assumiu o comando da DGE sob grandes expectativas. A estatística



Uma das inovações do Censo de 1920 foi o esmero nas ilustrações



As análises populacionais indicaram que no início do século XX a expectativa média de vida era de 34,5 anos, menos da metade que os 76,6 de hoje

brasileira tinha, então, um histórico de lacunas e insucessos que o órgão tentava superar desde que fora criado, em 1871. Em 1852, um censo instituído juntamente com a obrigatoriedade de registro civil despertara um levante popular, especialmente em Pernambuco e Alagoas, que ficaria conhecido como Revolta dos Marimbondos. Dizia-se que o governo pretendia escravizar homens pobres livres e reescravizar libertos. Segundo Senra, em seu livro *Uma breve história das estatísticas brasileiras (1822-2002)* (IBGE, 2009), “o povo, armado de ‘bacamartes, chuchos, cacetes e facões’, gritava contra a lei e ameaçava as autoridades”. O governo imperial recuou e suspendeu a aplicação dos decretos.

O primeiro e único censo do Império ocorreu em 1872, já sob a gestão da DGE, criada para esse fim. O Brasil acabava de

sair da Guerra do Paraguai (1864-1870), que havia revelado, de forma contundente, a carência de informações: faltavam dados sobre recursos humanos, estoques de alimentos e cartografia confiável, essenciais aos esforços de guerra. Segundo Malavota, os resultados desse censo foram considerados razoáveis, dada a inexperiência e a falta de recursos técnicos.

Em 1890, foi feito o Recenseamento Geral da República. Em meio à instalação de um novo regime, as instabilidades políticas, com levantes em várias partes do país, desorganização administrativa e falta de recursos comprometeram a qualidade do trabalho. E o Censo de 1900 seria ainda pior, como resultado da falta de recursos humanos e financeiros. “No Distrito Federal, teve de ser anulado, pe-

la falta de confiabilidade”, relata o historiador. Foi necessário refazer o trabalho no Distrito Federal [Rio de Janeiro] em 1906; Bulhões participou da comissão organizadora desse novo recenseamento, antes mesmo de assumir a direção da DGE, no ano seguinte. “Ele entrou com a missão de fazer uma ampla reforma na DGE e estabelecer um sistema estatístico efetivo”, diz Malavota. Ao se aproximar o centenário da Independência, havia também uma pressão social, expressa sobretudo pela imprensa, por dados confiáveis que refletissem a realidade do país – o que explica o prestígio conquistado pelo organizador do Censo bem-sucedido de 1920.

Em 1925, Bulhões Carvalho participou, em Roma, da 16ª reunião do International Statistical Institute (ISI), na qual relatou o trabalho feito no Censo de 1920. Dois anos depois, em outra reunião do ISI, no Cairo, Egito, fez uma exposição sobre acidentes no trabalho e registro civil de óbitos e nascimentos no Brasil. Ele ainda planejou um recenseamento em 1930, que não se concretizou devido à revolução que encerrou a Primeira República. A DGE foi extinta pelo governo Vargas, em 1931, e o demógrafo sanitário resolveu se aposentar do serviço público. Mas continuou como nome de referência para o setor.

O demógrafo morreu em 1940 e nunca se casou ou teve filhos. O advogado e estatístico Mário Augusto Teixeira de Freitas (1890-1956), idealizador e primeiro secretário-geral do IBGE, e o advoga-



Jipe de campanha de divulgação do Censo de 1950



O intenso trabalho manual, como no Censo de 1940, diminuiu com o atual uso do celular na coleta de dados



Jipes utilizados no Censo de 1950 para chegar aos bairros periféricos da cidade de São Paulo

do e diplomata José Carlos de Macedo Soares (1883-1968), então presidente do IBGE, pediram a Getúlio Vargas (1882-1954) para que os sobrinhos dos quais ele cuidava desde a morte do irmão fossem nomeados seus herdeiros. “Esse fato reflete o prestígio que Bulhões conservou com esse grupo”, relata Malavota.

Segundo Senra, o primeiro censo realizado pelo IBGE, em 1940, dois anos após a criação da instituição, “seguia muito de perto os passos de Bulhões adotados no Censo de 1920”. Seu legado não foi apenas a metodologia sistematizada em um manual de 603 páginas: “Ficou também a crença na importância das informações estatísticas como subsídio fundamental para o exercício do poder do Estado e para a tomada de decisões da sociedade”, ressalta Malavota.

Segundo o historiador, Bulhões Carvalho e Teixeira de Freitas consolidaram o conceito que perdura até hoje como di-

retriz do IBGE: a natureza pública das informações. “Eles reconheciam as informações como bens públicos, que devem resultar em benefício para a população, justificando o investimento do Estado”, afirma. Decorre desse conceito o compromisso de divulgação dos dados coletados, expresso no regulamento da DGE, criado por Bulhões. O artigo 7º desse regulamento já trazia a proposta de criação regular de anuários e boletins. “Ele foi pioneiro não apenas na produção, mas na disseminação das informações”, diz o historiador.

Atualmente funcionam no Brasil 35 cursos de graduação em estatística e estima-se em cerca de 15 mil profissionais especializados nessa área em atuação no país. Hoje, com o auxílio da tecnologia, a estatística vislumbra um passo além da divulgação: a interpretação das informações obtidas, visando à elabo-

ração de políticas públicas. Esse é um dos objetivos do projeto liderado pelo matemático Paulo de Martino Jannuzzi, professor da Ence-IBGE e diretor do Centro de Colaboração Interinstitucional de Inteligência Artificial Aplicada às Políticas Públicas (Ciap). “Temos muita informação hoje; vivemos o paradoxo da escassez de conhecimentos na abundância de dados. Os gestores precisam de um facilitador da interpretação desses dados e a IA pode ser uma grande aliada nesse sentido”, afirma.

Com a parceria da Universidade Federal de Goiás (UFG) e Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), além do apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (Fapeg), Januzzi tem empregado recursos de IA na formação de um acervo de políticas públicas e na criação de uma ferramenta de consulta destinada a gestores. Segundo ele, uma das vertentes do projeto é oferecer um serviço de respostas técnicas, a partir do emprego da IA generativa, capaz de gerar conteúdos, como textos, imagens, vídeos e áudios. Denominada ChatPP, Assistente de Inteligência Artificial para Políticas Públicas (<https://ciap.org.br/chatpp>), essa ferramenta vem sendo alimentada com um acervo de boas práticas em gestão pública construído a partir de artigos, publicações de eventos e projetos de extensão de universidades. ●

Histórias de família

Especializada em demografia histórica, Ana Silvia Volpi Scott encontrou refúgio na profissão após a morte da filha em acidente aéreo



Nasci na cidade de São Paulo e cresci no bairro Vila Monumento, próximo ao Museu do Ipiranga. Aquele prédio, com suas escadarias, jardins e fontes imponentes, era minha paisagem cotidiana. Talvez isso, aliado à paixão pela leitura, me fez ter um gosto especial pelas aulas de história. Lá pelos 13 anos já tinha decidido que seria historiadora. Egressa da escola pública, fui aprovada no vestibular e entrei no curso de história na USP [Universidade de São Paulo] em 1977, aos 17 anos.

Logo no início da graduação, fui “capturada” pela demografia histórica por influência da professora Maria Luiza Marcílio, uma das responsáveis pela introdução e desenvolvimento dessa área no Brasil e na América Latina. No segundo ano, com uma bolsa de iniciação científica da FAPESP, passei a trabalhar no projeto “População, terra e herança na capitania de São Paulo”, cujo objetivo era entender como a elite paulista gerenciava seu patrimônio, casamentos

e sucessões hereditárias entre o final do século XVIII e início do XIX.

Até hoje me emociono ao lembrar da primeira lista nominativa que li no Arquivo Público do Estado de São Paulo. As primeiras contagens populacionais realizadas pela Coroa portuguesa aconteceram no século XVI. No entanto, para aprimorar o controle sobre seus territórios, Portugal passou a elaborar, em meados do século XVIII, listas e mapas das populações de suas colônias na África e na América.

Produzidas até 1836, as listas da capitania de São Paulo trazem o número dos habitantes em cada vila, com nome, idade, cor e naturalidade, identificando ainda os chefes dos domicílios, agregados, dependentes e escravizados. Esses documentos constituem a mais importante coleção de levantamentos populacionais realizados na América portuguesa.

O assunto acabou inspirando minha pesquisa de mestrado, “Dinâmica familiar da elite paulista (1765-1836): Estudo dife-

rencial de demografia histórica das famílias dos proprietários de grandes escravarias do Vale do Paraíba e região da capital de São Paulo”. Defendi a dissertação na USP, em 1987, sob orientação da professora Maria Luiza. Dois anos antes eu havia participado da criação do Centro de Estudos de Demografia Histórica da América Latina [Cedhal], idealizado por ela na USP.

Foi por meio do centro que tive oportunidade de concorrer a uma das bolsas do programa de doutorado do Instituto Universitário Europeu [EUI]. Minha proposta era comparar os padrões de casamentos luso-brasileiros. Em 1989, na companhia do meu marido, Dario, embarquei para Florença, onde fica a sede do instituto. Os três anos que passei na Itália foram permeados por frequentes estadas em Portugal, nas cidades do Porto, Braga e Guimarães. Por conta da riqueza das fontes que encontrei na Europa, desisti da proposta inicial de fazer uma análise comparada e privilegiei na tese o lado português da pesquisa.

Terminado o período da bolsa do EUI, fiquei por alguns meses na Universidade do Minho, em Portugal, com uma bolsa do Instituto Camões. Até que, em 1992, engravidei de Thaís e decidimos voltar ao Brasil, sem eu ter defendido o doutorado.

Anos depois, em 1996, recebi um convite para participar de um projeto no então recém-criado Núcleo de Estudos de População e Sociedade [Neps], na Universidade do Minho, em Portugal. Minha nova estada na Europa culminou com a defesa da minha tese de doutorado “Famílias, formas de união e reprodução social no noroeste português, séculos XVIII e XIX”, junto ao Departamento de História e Civilização do EUI, em 1998.

De volta ao Brasil, atuei como professora visitante no Departamento de História da Universidade Estadual de Maringá [UEM], no Paraná, entre 2000 e 2002. E, a partir de 2003, comecei a participar como pesquisadora do Núcleo de Estudos de População da Universidade Estadual de Campinas [Nepo-Unicamp].

Em 2005, fomos para São Leopoldo [RS] depois que fui aprovada em concurso para ser professora no Programa de Pós-graduação em História da Univer-

sidade do Vale do Rio dos Sinos, a Unisinos. Os primeiros anos foram muito felizes: criei um grupo de estudo, exatamente como havia aprendido com a professora Maria Luiza, na USP, e começamos a alimentar um banco de dados [Nacaob] sobre as famílias gaúchas no período colonial.

Eu contava com a colaboração de Dario, que acabou se tornando também um parceiro acadêmico. Por minha “culpa”, ele, que vinha da área de informática, se envolveu na década de 1980 com os desafios de organizar bancos de dados da demografia histórica, passando a colaborar como pesquisador no Cedhal. Em 2020, defendeu seu doutorado em demografia, na Unicamp, com um trabalho sobre a mortalidade da população livre e escravizada em Porto Alegre.

A história de nossa família é marcada por uma tragédia. Em julho de 2007, a Unisinos sediou o simpósio da Associação Nacional de História [Anpuh], o maior encontro brasileiro da área. Por conta disso, Thaís embarcou com uma amiga, Rebeca, em Porto Alegre, para passar férias com os avós em São Paulo. Elas estão entre as 199 vítimas fatais do



SAIBA MAIS
Nepo-Unicamp

acidente com a aeronave da TAM no aeroporto de Congonhas, na capital paulista. Tinham 14 anos.

A maneira que encontrei para lidar com uma perda tão brutal foi transformar o trabalho em refúgio. Passava dias inteiros na universidade. Em meio ao processo de luto, veio um convite da editora Contexto para escrever um dos livros da coleção Povos e Civilizações. Em 2010, publiquei *Os portugueses*, obra em que revisito os grandes ciclos de expansão, crise e reinvenção atravessados por esse povo.

foi essa palavra, reinvenção, que me guiou quando, aos 48 anos, decidi iniciar um tratamento de fertilidade. Em nome de tudo de bom que vivemos com a Thaís, sentimos que era preciso criar outras memórias. Engravidei já na primeira tentativa de inseminação e, em 2010, chegaram os gêmeos Anna Beatriz e Tomás Aramis.

Iniciei uma nova etapa profissional em 2015, quando fui aprovada em concurso do Departamento de Demografia do Instituto de Filosofia e Ciências Humanas [IFCH] da Unicamp. Pude retomar também meu vínculo como pesquisadora do Nepo e, desde então, parcerias com colegas do departamento e do núcleo têm possibilitado minha inserção em estudos populacionais.

Um deles é o projeto de pesquisa “Regiões: História social das desigualdades no Brasil”, vinculado ao programa Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico [INCT-CNPq], que investiga como processos históricos de longa duração, articulados ao espaço regional brasileiro, produziram e mantêm as desigualdades sociais nos dias de hoje. O outro é o temático FAPESP, “Dinâmicas de incorporação, mobilidade social e dominação no oeste paulista, 1850-1950”, que se debruça sobre diferentes estratos populacionais daquele período. ●

DEPOIMENTO CONCEDIDO A
PATRICIA MARIUZZO

Na outra página, Scott no sítio onde vive em Valinhos (SP); com o marido, Dario, e a filha, Thaís, em 2006; e com os gêmeos Anna Beatriz e Tomás Aramis, em 2014



2



3

Algoritmos que fazem política

FABIO KON



Política dos algoritmos – Instituições e as transformações da vida social

Ricardo F. Mendonça,
Fernando Filgueiras
e Virgílio Almeida
Ubu Editora
320 páginas
R\$ 89,90

Ada é uma jovem agitadamente bonita. Ela está um pouco nervosa porque vai sair com um novo candidato a namorado que conheceu no Tinder. Eles vão jantar pela primeira vez, então ela quer que tudo dê certo. Para garantir, pergunta ao ChatGPT que tipo de restaurante seria mais apropriado para esse primeiro encontro e a resposta foi “italiano moderno. É quase impossível errar com massa”. Ela gostou da sugestão, então abre o Maps, procura por “italiano moderno”, escolhe aquele com melhor avaliação e manda o link para o “candidato”, que responde rapidamente com um ícone de joinha e um emoji de coração.

O Maps mostra que a caminhada até lá levaria 23 minutos e Ada considera ir a pé. Mas, ao traçar a rota recomendada, percebe que teria que passar por ruas escuras que, mesmo cheias de câmeras de segurança com reconhecimento facial, não inspiram muita confiança; então, ela decide chamar um Uber. Ada fica preocupada, pois a bateria do seu celular está acabando e o Uber está estranhamente caro, mas tudo dá certo. Ao chegar ao restaurante, repara em um rapaz sentado à mesa, fissurado em seu celular, tentando baixar um aplicativo para escolher a música ambiente. Aproxima-se e pergunta: “Alan, é você?”. Ele ergue os olhos, sorri e responde: “Você é mais bonita pessoalmente”.

Vivemos em um mundo regido por algoritmos. Eles ditam boa parte dos nossos movimentos, os caminhos que fazemos, a música que ouvimos, os filmes a que assistimos, as notícias que lemos, a comida que comemos, os remédios que tomamos, os impostos que pagamos e as pessoas com quem nos relacionamos. Eles também influenciam políticas públicas e resultados de eleições.

No livro *Política dos algoritmos – Instituições e as transformações da vida social*, os cientistas políticos Ricardo Mendonça e Fernando Filgueiras e o cientista da computação Virgílio Almeida não só discutem como os algoritmos estão transformando a vida social (o que já sabíamos), mas também argumentam que os algoritmos são novas instituições. Analisando a digitalização das sociedades sob a ótica do institucionalismo, os autores mostram como o arcabouço conceitual das instituições é adequado para compreender melhor o papel dos algoritmos no contexto atual.

O termo algoritmo designa uma sequência sistemática de operações lógico-matemáticas destinada a resolver um problema ou a alcançar um objetivo específico. Existem algoritmos para colocar nomes em ordem alfabética, resolver sistemas de equações, converter imagens coloridas em branco e preto, localizar registros em um grande banco de dados e muito mais.

Na última década, o aumento do poder do hardware dos computadores e a grande quantidade de dados disponíveis para análise impulsionaram o avanço dos algoritmos de aprendizado de máquina, que passaram a obter resultados expressivos em uma nova gama de aplicações. Entre elas estão, por exemplo, a recomendação de filmes em plataformas de *streaming*, a detecção de fraudes no imposto de renda ou em licitações ou a decisão de quem deve receber um auxílio emergencial em caso de calamidade pública.

Na abertura do livro, é apresentada a ideia de institucionalismo, estabelecendo os conceitos básicos da área. Ao propor que os algoritmos sejam compreendidos como instituições, os autores fogem de abordagens superficiais, tanto daquelas que os tratam, em um extremo, como agentes autônomos animados quanto das que os reduzem a ferramentas neutras. Para os autores, os algoritmos são, simultaneamente, estruturas e formas de agência, com impactos individuais e coletivos. Em seguida, eles apresentam uma série de exemplos concretos em áreas como segurança pública e saúde, auxiliando o leitor a refletir sobre essa nova forma de enxergar a sociedade.

Por fim, o livro enfatiza a necessidade de a sociedade impor limites ao modo como os algoritmos são inseridos em nossas vidas, ressaltando que valores da ética, da responsabilidade e da democracia devem prevalecer. Trata-se, portanto, de uma leitura fundamental para quem deseja refletir sobre o papel dos algoritmos nas sociedades contemporâneas, seus perigos e oportunidades, e sobre o que podemos fazer para não perdermos o controle. O institucionalismo algorítmico proposto pelos autores oferece um arcabouço analítico consistente para compreender um mundo em transformação. ●

Fabio Kon é professor titular do Instituto de Matemática, Estatística e Ciência da Computação da Universidade de São Paulo (IME-USP).

PRESIDENTE

Marco Antonio Zago

VICE-PRESIDENTE

Carmino Antonio de Souza

CONSELHO SUPERIOR

Antonio José de Almeida Meirelles, Carlos Gilberto Carlotto Junior, Felipe Ferreira Guimarães Figueiredo, Franklim Shunjiro Nishimura, Herman Jacobus Cornelis Voorwald, Lucia Helena Mascaro Sales, Marcilio Alves, Maria Armanda do Nascimento Arruda, Pedro Wongtschowski, Thelma Krug

CONSELHO TÉCNICO-ADMINISTRATIVO

DIRETOR-PRESIDENTE
Carlos Frederico de Oliveira Graeff

DIRETOR CIENTÍFICO

Marcio de Castro Silva Filho

DIRETOR ADMINISTRATIVO

Antonio José de Almeida Meirelles

pesquisa fapesp

ISSN 1519-8774

COMITÊ CIENTÍFICO

Luiz Roberto Giorgetti de Britto (*Presidente*), Alexandre Alarcon Steiner, Ana Claudia Latronico Xavier, Ana Claudia Torrecilhas, Ana Cristina Gales, Antonio José de Almeida Meirelles, Carlos Frederico de Oliveira Graeff, Daniel Scherer Moura, Deisy de Souza, Eduardo Magalhães Rego, Eduardo Zancul, Elisa Yumi Nakagawa, Fabiana Cristina Komesu, Fernando Luis Medina Mantelatto, Flávio Henrique da Silva, Gustavo Dalpian, Helena Lage Ferreira, João Pereira Leite, Liliam Sanchez Carrete, Luiz Nunes de Oliveira, Marcio de Castro Silva Filho, Marco Antonio Zago, Marisa Masumi Beppu, Marta Arretche, Michelle Rotton Sanchez Badin, Monica Tallarico Pupo, Paulo Schor, Paulo Sérgio Boggio, Rachel Meneguello, Ricardo Ivan Ferreira de Trindade, Richard Charles Garratt, Rodolfo Jardim Azevedo, Sergio Costa Oliveira, Sydney José Lima Ribeiro, Sylvio Canuto, Wilson Rosa de Almeida, Yara Adário Frateschi

COORDENADOR CIENTÍFICO

Luiz Roberto Giorgetti de Britto

EDITOR-CHEFE

Neldson Marcolin

EDITORES Fabrício Marques (*Política Científica e Tecnológica*), Carlos Fioravanti (*Ciências da Terra*), Marcos Pivetta (*Ciências Exatas*), Maria Guimarães (*Ciências Biológicas*), Ricardo Zorzetto (*Ciências Biomédicas*), Yuri Vasconcelos (*Tecnologia*), Ana Paula Orlando (*Humanidades*) e Christina Queiroz (*editora assistente*)

REPÓRTER Sarah Schmidt

ARTE Claudia Warrak (*Editora*), Júlia Cherem Rodrigues e Maria Cecilia Felli (*Designers*), Alexandre Affonso (*Editor de infografia*)

FOTÓGRAFO Léo Ramos Chaves**BANCO DE IMAGENS** Valter Rodrigues

SITE Yuri Vasconcelos (*Coordenador*), Jayne Oliveira (*Coordenadora de produção*), Kézia Stringhini (*Redatora on-line*)

MÍDIAS DIGITAIS Maria Guimarães (*Coordenadora*), Renata Oliveira do Prado (*Editora de mídias sociais*), Vitória do Couto (*Designer digital*)

VÍDEOS Christina Queiroz (*Coordenadora*)

RÁDIO Fabrício Marques (*Coordenador*) e Sarah Caravieri (*Produção*)

REVISÃO Alexandre Oliveira e Margô Negro

REVISÃO TÉCNICA Aparecida Sadae Tanaka, Fabiana Komesu, José Mauricio Barbanti Duarte, José Roberto Arruda, Luiz Aragão, Maria de Fátima Morethy Couto, Mirhiane Mendes de Abreu, Neuza Bragagnolo, Ricardo Hirata

COLABORADORES Ana Beatriz Rangel, Andrei Celestino Godinho, Daniel Almeida, Domingos Zapparoli, Eduardo Magossi, Fernanda Ravagnani, Giselle Soares, Guilherme Costa, Gustavo Romero, Fabio Kon, Igor Zolnerkevic, Julia Jabur, Mariana Ceci, Mônica Manir, Patricia Mariuzzo, Suzel Tunes, Veridiana Scarpelli

MARKETING E PUBLICIDADE Paula Iliadis

CIRCULAÇÃO Aparecida Fernandes (*Coordenadora de Assinaturas*)

OPERAÇÕES Andressa Matias**SECRETÁRIA DA REDAÇÃO** Ingrid Teodoro

É PROIBIDA A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DE TEXTOS, FOTOS, ILUSTRAÇÕES E INFOGRÁFICOS SEM PRÉVIA AUTORIZAÇÃO
TIRAGEM 24.310 exemplares
IMPRESSÃO Plural Indústria Gráfica
DISTRIBUIÇÃO RAC Mídia Editora

GESTÃO ADMINISTRATIVA FUSP - FUNDAÇÃO DE APOIO À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PESQUISA FAPESP Rua Pio XI, 1.500, CEP 05468-901, Alto da Lapa, São Paulo-SP

FAPESP Rua Pio XI, nº 1.500, CEP 05468-901, Alto da Lapa, São Paulo-SP

Secretaria de Desenvolvimento Econômico, Ciência, Tecnologia e Inovação
GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO

PANTANAL SECO

Uma pesquisa importante (“Um Pantanal mais seco e quente”, edição 360), com dados muito relevantes – inclusive já verificados no estudo que estou desenvolvendo atualmente. Infelizmente, ela revela uma realidade preocupante, especialmente para biomas como a Amazônia e o Pantanal. Neste último, a situação é ainda mais alarmante, com uma progressão acelerada de danos, como a perda de água.

Marcelo Mazin**CÂNCER DE INTESTINO**

Esse tipo de estudo é extremamente importante (“Os custos de uma doença”, edição 362). Ciência é isso, tem que ser pragmática, em busca de melhores condições para a sociedade. A máquina pública não se preocupa com a família ou os filhos que a pessoa vai deixar se morrer; se preocupa se deixamos de trabalhar e pagar impostos. É necessário mostrar que cuidar da saúde das pessoas é benéfico para todos.

Marcos Paulo Amorim**VÍDEOS**

Ótimo conteúdo (“Aquecimento global empurra corais para ponto de não retorno”). Triste, mas fundamental. Fiquei pensando no próximo El Niño, esperado para o segundo semestre deste ano, e na dificuldade de os paí-

ses assumirem compromissos juntos. É imprescindível que cada país comece fazendo a sua parte.

Glaucia Aragão

Parabéns pela informação tão didática e importante sobre corais. Agradeço o esforço de conscientização.

Charles Jacquard

Que vídeo completo, superdidático. Muito bom. Vou encaminhar!

Ana Elisa de Nadal

Ótima análise da obra e das ideias de Milton Santos (“Milton Santos: 100 anos do pensador que redefiniu o espaço geográfico”).

Márcio José Catelan

Parabéns ao professor Fernando Landgraf pela capacidade didática de nos colocar a par de um tema tão contemporâneo quanto importante (“O que são terras-raras?”). Infelizmente, continuamos na lanterna da pesquisa aplicada.

Georgina Alves Vieira da Silva

Muito esclarecedor e urgente que a população crie o hábito de conhecer mais profundamente o tema terras-raras.

Eremita Castanheira Novaes

Sua opinião é bem-vinda. As mensagens poderão ser resumidas por motivo de espaço e clareza.

ASSINATURAS, RENOVAÇÃO E MUDANÇA DE ENDEREÇO

Envie um e-mail para assinaturaspesquisa@fapesp.br

PARA ANUNCIAR

E-mail: publicidade@fapesp.br

EDIÇÕES ANTERIORES

Preço atual de capa acrescido do custo de postagem. Peça pelo e-mail: assinaturaspesquisa@fapesp.br


LICENCIAMENTO DE CONTEÚDO


Adquira os direitos de reprodução de textos e imagens de *Pesquisa FAPESP*. E-mail: redacao@fapesp.br


CONTATOS


revistapesquisa.fapesp.br


redacao@fapesp.br


 PesquisaFapesp

 pesquisa_fapesp

 @pesquisa_fapesp

 PesquisaFapesp

 pesquisafapesp

 cartas@fapesp.br

Revista Pesquisa FAPESP
Gerência de Comunicação
Rua Pio XI, 1500
CEP 05468-901 - São Paulo, SP

Sua pesquisa rende fotos bonitas?
Mande para imagempesquisa@fapesp.br
Seu trabalho poderá ser publicado na revista.



Uma floresta flutuante?

Em frascos de laboratório crescem colônias de cianobactérias, microrganismos cuja riqueza química pode dar origem a moléculas com potencial farmacológico. Durante seu treinamento na Faculdade de Ciências Farmacêuticas da Universidade de São Paulo (USP), Andrei Godinho andava com frascos no bolso para coletar água de poças esverdeadas, depois da chuva, e cuidava dos organismos até poder extrair suas substâncias e testar sua potencial ação anticancerígena em células tumorais. “No Brasil, ainda não pusemos no mercado um fármaco oriundo de moléculas da nossa biodiversidade de cianobactérias”, afirma.

Imagem enviada por **Andrei Celestino Godinho**, estudante de graduação em biotecnologia na Escola de Artes, Ciências e Humanidades (EACH) da USP

4

CONFERÊNCIAS
FAPESP 2026**NÃO É SORTE, É CIÊNCIA:****Jogando os dados a favor da saúde****26 JUN**

das 10h às 11h30

EVENTO PRESENCIAL

A FAPESP convida para a quarta **Conferência FAPESP 2026** que contará com a participação do pesquisador titular da Fiocruz-Bahia

MANOEL BARRAL-NETTO

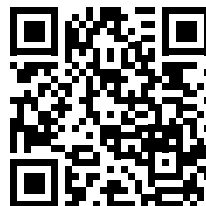
Referência em imunorregulação de doenças parasitárias, infecciosas e saúde de precisão, membro da Academia Brasileira de Ciências e presidente da Academia de Ciências da Bahia. Ao longo da carreira, ocupou importantes cargos de gestão acadêmica e científica, incluindo o de pró-reitor de Pesquisa e Pós-graduação da UFBA, diretor da Faculdade de Medicina da Bahia, diretor de programas temáticos e setoriais e diretor de Cooperação Institucional do CNPq, além de diretor do Instituto Gonçalo Moniz (Fiocruz-Bahia) e vice-presidente de Educação, Informação e Comunicação da Fiocruz. Coordena atualmente o projeto AESOP para detecção antecipada de surtos infecciosos.



Foto: Acervo pessoal

Para mais informações
e inscrições, acesse:

www.fapesp.br/conferencias



Auditório FAPESP – Rua Pio XI, 1500 – Alto da Lapa, São Paulo, SP

APOIO – DIVULGAÇÃO:

**ACIESP**

ACADEMIA DE CIÊNCIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO



2

3

4

revista **pesquisa** fapesp

27 ANOS NOTICIANDO A CIÊNCIA BRASILEIRA
À VENDA EM BANCAS DE TODO O PAÍS